

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES
MEDIANTE SIMULACIÓN HIDRÁULICA
BIDIMENSIONAL APLICANDO HEC – RAS 5.0 EN UN
TRAMO DEL RÍO HUANCABAMBA, DESDE LA
QUEBRADA CHULA (KM 2.42) HASTA LA
QUEBRADA LUNGULO (KM 5.51), PROVINCIA DE
HUANCABAMBA, DEPARTAMENTO DE PIURA”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

PRESENTADO POR:

Br. GERARDO MANUEL GERMÁN OLIVARES CASTILLO

**PIURA – PERÚ
2018**




UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA


**“DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES MEDIANTE
SIMULACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL APLICANDO
HEC – RAS 5.0 EN UN TRAMO DEL RÍO HUANCABAMBA,
DESDE LA QUEBRADA CHULA (KM 2.42) HASTA LA
QUEBRADA LUNGULO (KM 5.51), PROVINCIA DE
HUANCABAMBA, DEPARTAMENTO DE PIURA”**

TESIS

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA PARA
OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**



ING. CARLOS M. CABREJOS VÁSQUEZ
ASESOR



ING. YOEL E. CORDOVA ELERA
CO - ASESOR



Br. GERARDO MANUEL GERMÁN OLIVARES CASTILLO
TESISTA

PIURA – PERÚ
2018

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE LA TESIS

Yo: **Br. GERARDO MANUEL GERMÁN OLIVARES CASTILLO**, identificado con DNI N° 46456190, Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, de la Facultad de Agronomía y domiciliado en Urb. Bancaria II Etapa Mz. F Lote 23 – Piura, Provincia de Piura, Departamento de Piura.

Celular: 968044436

Correo: germangeroc@gmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código penal concordante con el Art. 32 de la ley N° 27444, y ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fé de lo cual firmo la presente.

Piura, Diciembre del 2018.

.....
Br. Gerardo Manuel Germán Olivares Castillo
DNI N° 46456190



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**"DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES MEDIANTE
SIMULACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL APLICANDO
HEC – RAS 5.0 EN UN TRAMO DEL RÍO HUANCABAMBA,
DESDE LA QUEBRADA CHULA (KM 2.42) HASTA LA
QUEBRADA LUNGULO (KM 5.51), PROVINCIA DE
HUANCABAMBA, DEPARTAMENTO DE PIURA"**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

Br. GERARDO MANUEL GERMÁN OLIVARES CASTILLO

APROBADO POR:

**ING. GILMER CAMACHO LÁZARO MSc.
PRESIDENTE**

**ING. WALTER RAMÍREZ CHACÓN
VOCAL**

**ING. HEBER ALCOSER CALLE MSc.
SECRETARIO**

**PIURA – PERÚ
2018**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
COMISION DE INVESTIGACION AGRICOLA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS 035-2018-CIAFA-UNP

Los miembros del jurado calificador que suscriben, congregados para estudiar el Trabajo de Tesis denominado "DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES MEDIANTE SIMULACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL APLICANDO HEC - RAS 5.0, EN UN TRAMO DEL RÍO HUANCABAMBA, DESDE LA QUEBRADA CHULA (KM.2.42) HASTA LA QUEBRADA LUNGULO (KM.5.51), PROVINCIA DE HUANCABAMBA, DEPARTAMENTO DE PIURA", conducido por el BR. GERARDO MANUEL GERMÁN OLIVARES CASTILLO, asesorado por el Ing. Carlos M. Cabrejos Vásquez y co-asesorado por el Ing. Yoel E. Córdova Elera.

Luego de oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran APROBADO, en consecuencia, queda en condiciones de ser calificado APTO para gestionar ante el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, de conformidad con lo estipulado en el artículo N° 171, inciso 2° del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 12 de Junio del 2018.

Ing. Gilmer Camacho Lázaro MSc.
Presidente

Ing. Walter Ramírez Chacón
Vocal

Ing. Heber Alcoser Calle MSc.
Secretario

DEDICATORIA

Al Divino.

Por la extensión de errores y certezas que en mi pasado, presente y futuro llamaré lecciones. Por crear la naturaleza que inspiró a personajes para ser grandes e inolvidables como Charles Chaplin, Facundo Cabral y Gustavo Cerati. Por la única y verdadera religión... el amor que es la mejor ambición en el cielo.

A mi madre Amanda

Por bien aventurarme a este mundo el día que vi la luz posado en su regazo. Por ocupar cada salida del sol en orar por sus amados hijos. Por apoyarme todos los segundos, de todos los minutos, de todas las horas, de todos los días de mi vida.

A mi padre Germán.

Por enseñarme la manera de no lastimar al prójimo, y que se debe luchar por las causas justas.

A Brenda.

Por su amor incalculable que es una lámpara milagrosa que ilumina todos los caminos que aún nos quedan por recorrer. Por su sonrisa que convierte todos mis días, aunque sean nublados, en eternas primaveras.

A Luis, Milena, Melisa y Amanda.

Por el testimonio de sus vidas que me influyen en creer que un templo es un hogar con una familia feliz.

A mis sobrinos Gimena, Marcelo y Bhianquita.

Por detenerme a pensar que no debemos olvidar ser niños, porque debemos cuestionar todo, vivir el presente con intensidad, conocer el mundo con ternura, despertar cada día con ánimo pensando que la vida es una aventura excitante y recordar que desde la cuna aprendemos a vivir.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Carlos Miguel Cabrejos Vásquez, por sus esenciales aportes en mi formación universitaria y por su testimonio de ética profesional.

Al Ing. Yoel Córdova Elera, por su apoyo incondicional en la gestación de mi trabajo de investigación, pero sobre todo por su amistad sincera

A los miembros del jurado por sus acciones correctivas que enriquecieron mi investigación.

A todos mis contemporáneos y a los no tanto por bien influir en mi proceso formativo profesional y sobre todo personal.

RESUMEN

La presente investigación elaborada por el suscrito, comprende la aplicación del modelo matemático *Hec-RAS v.5.0* para desarrollar una simulación hidráulica bidimensional, cuyo objeto es determinar zonas inundables en un tramo del Río Huancabamba desde la Quebrada Chula hasta la Quebrada Lungulo, así como también analizar y evaluar el comportamiento hidráulico del tramo investigado; es decir, los caudales, los niveles de agua y las velocidades máximas para periodos de retorno $Tr = 25$ años, $Tr = 50$ años y $Tr = 100$ años.

Lo expuesto explica que lo primero que se determinó fueron los parámetros geomorfológicos de las subcuencas intervinientes, las cuales son: Quebrada Chula, Quebrada Angostura y Río Huancabamba. Posteriormente se realizó el análisis de distribuciones estadísticas en *HidroEsta v.2* para las estaciones meteorológicas influyentes (Salalá y Huancabamba); de modo que, se aplicó también el modelo hidrológico en *Hec-HMS* para hallar los hidrogramas que se ingresaron finalmente en *Hec-RAS v.5.0*.

Como consecuencia se generó información para la proyección de máximas avenidas de caudales en los periodos de retorno señalados. Obteniendo como resultado la ubicación de seis zonas inundables que ocuparon un área total de 4,415 Hectáreas.

Palabras clave: Simulación, modelo, hidrogramas.

ABSTRACT

The present investigation elaborated by the subscribed, includes the application of the mathematical model *Hec-RAS v.5.0* to develop a two-dimensional hydraulic simulation, whose objective is to determine flood zones in a section of the Huancabamba River from the Chula ravine to the Lungulo ravine, as well as also analyze and evaluate the hydraulic behavior of the investigated section; that is to say, the flows, the water levels and the maximum speeds for periods of return $Tr = 25$ years, $Tr = 50$ years and $Tr = 100$ years.

The above explains that the first thing that was determined were the geomorphological parameters of the intervening sub-basins, which are: Chula ravine, Angostura ravine and Huancabamba river. Later, the analysis of statistical distributions was made in *HidroEsta v.2* for the influential meteorological stations (Salalá and Huancabamba); so that, the hydrological model was also applied in *Hec-HMS* to find the hydrographs that were finally entered in *Hec-RAS v.5.0*.

As a consequence, the information was generated for the projection of maximum avenues of flows in the indicated return periods. Resulting in the location of six flood zones that occupied a total area of 4,415 Hectares.

Keywords: Simulation, model, hydrographs.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. General.....	3
1.2.2. Específicos.....	3
1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	3
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2. BASE TEÓRICA.....	15
2.2.1. Cuenca Hidrográfica.....	15
2.2.2. Río.....	17
2.2.3. Hidrología Fluvial.....	17
2.2.4. Hidráulica Fluvial.	18
2.2.5. Tránsito de Avenidas.....	19
2.2.6. Inundaciones.....	19
2.2.7. Identificación de zonas de riesgo.....	19
2.2.8. Sistema de Información Geográfica (SIG)	20
2.2.9. Simulación Hidráulica.....	20
2.2.10. Hec-RAS.....	20
2.2.11. Modelo.....	21
2.2.12. Modelo Hidráulico.....	21
2.2.13. Modelos Bidimensionales	21
2.2.14. Modelación Hidráulica Bidimensional.....	21
2.2.15. Modelos Digitales del Terreno (MDT).....	22
2.2.16. Coeficiente de Rugosidad de Manning.....	22
2.2.17. Estimación Hidráulica de Coeficientes de Rugosidad de Manning.....	22
2.2.18. Hec-HMS.....	24
2.2.19. Precipitación.....	24
2.2.20. Coeficiente de Gravelius (Ic)	26

2.2.21. Factor de Forma (Ff)	26
2.2.22. Factor de Elongación (Re)	27
2.2.23. Distribuciones Estadísticas.....	27
2.2.24. Pruebas de Bondad de Ajuste.....	29
2.2.25. Método de SCS para Número de Curva.....	30
2.2.26. Caudales.....	32
CAPÍTULO III.....	33
MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	33
3.1. MATERIALES.....	33
3.1.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.1.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	35
3.1.2.1 Cuenca Hidrográfica.....	35
3.1.2.2 Sub Cuencas Tributarias.....	35
3.1.2.2.1 Sub cuenca Quebrada Sauce Chico-Chula.....	35
3.1.2.2.2 Sub cuenca Quebrada Angostura.....	36
3.1.2.2.3 Sub cuenca Quebrada Unguio – Longulo.....	36
3.1.2.3 Río Huancabamba.....	36
3.1.2.4 Geomorfología.....	37
3.1.2.5 Hidrología.....	38
3.1.2.6 Geología	36
3.1.2.7 Relieve.....	39
3.1.2.8 Clima.....	39
3.2 METODOLOGÍA.....	40
3.2.1 Etapa de campo.....	40
3.2.1.1 Reconocimiento visual del área investigada y capturas fotográficas.....	40
3.2.1.2 Levantamiento topográfico del cauce.....	41
3.2.1.3 Análisis granulométrico del lecho y cauce.....	41
3.2.1.4 Recopilación de la hidrología para determinar los caudales máximos.....	41
3.2.2 Etapa de gabinete.....	45
3.2.2.1 Delimitación de la cuenca hidrográfica.....	45
3.2.2.2 Determinación de caudales máximos.....	49
3.2.2.2.1 Análisis de Distribuciones Estadísticas y Prueba de Bondad de Ajuste.....	49
3.2.2.2.2 Tiempos de Concentración.....	51
3.2.2.2.3 Determinación del Número de Curva según SCS.....	51

3.2.2.2.4 Hietogramas de Diseño.....	51
3.2.2.2.5 Modelo Hidrológico con Hec-HMS.....	53
3.2.2.3 Simulación Hidráulica Bidimensional con Hec-RAS v.5.0.....	55
CAPÍTULO IV.....	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	61
4.1. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS.....	58
4.2. CAUDALES GENERADOS.....	62
4.3. HIDROGRAMAS DE FLUJO.....	64
4.4. VELOCIDADES GENERADAS.....	70
4.5. TIRANTES GENERADOS.....	70
4.6. PUNTOS CRÍTICOS.....	71
4.7. ZONAS INUNDABLES.....	74
CAPÍTULO V.....	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	75
5.1. CONCLUSIONES.....	75
5.2. RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de los parámetros de rugosidad según Cowan.....	23
Tabla 2. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el Método de Abstracciones de lluvia del SCS.....	30
Tabla 3. Números de curva de escurrimiento para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.....	31
Tabla 4. Datos Generales de las Estaciones Meteorológicas que intervienen en la zona de investigación.	42
Tabla 5. Estación Salalá.....	42
Tabla 6. Estación Huancabamba.....	43
Tabla 7. Parámetros geomorfológicos de la cuenca de la zona investigada.....	49
Tabla 8. Distribuciones estadísticas para la estación Salalá.....	50
Tabla 9. Distribuciones estadísticas para la estación Huancabamba.....	50
Tabla 10. Prueba de bondad de ajuste – Resumen para la estación Salalá.....	50
Tabla 11. Prueba de bondad de ajuste – Resumen para la estación Huancabamba.....	50
Tabla 12. Tiempos de concentración de las subcuencas.....	51
Tabla 13. Patrón de distribución de precipitación Tipo IA – SCS.....	52
Tabla 14. Valores de Rugosidad de Manning de la zona investigada.....	57
Tabla 15. Resumen de Parámetros Geomorfológicos.....	61
Tabla 16. Resumen global de caudales de las microcuencas ($T_r = 100$ años).....	62
Tabla 17. Resumen global de caudales de las microcuencas ($T_r = 50$ años).....	63
Tabla 18. Resumen global de caudales de las microcuencas ($T_r = 25$ años).....	63
Tabla 19. Hidrograma de flujo del Río Huancabamba y Qda. Chula ($T_r=100$ años)...	64
Tabla 20. Hidrograma de flujo del Río Huancabamba y Qda. Chula ($T_r = 50$ años)...	66
Tabla 21. Hidrograma de flujo del Río Huancabamba y Qda. Chula ($T_r = 25$ años)...	68
Tabla 22. Resumen de velocidades.....	70
Tabla 23. Resumen de niveles de agua.....	70
Tabla 24. Resumen de zonas inundables.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de simulación hidráulica.....	12
Figura 2. Orden de corrientes de la cuenca.....	15
Figura 3. Cuenca endorreica.....	16
Figura 4. Cuenca exorreica.....	16
Figura 5. Ubicación de la zona investigada.....	35
Figura 6. Confluencia de la Qda. Chula con el Río Huancabamba.....	40
Figura 7. Mapa de ubicación de las Estaciones Meteorológicas Huancabamba y Salalá.....	44
Figura 8. Imagen satelital S05W080.....	45
Figura 9. Imagen satelital S06W080.....	45
Figura 10. TIN de la zona investigada.....	46
Figura 11. Flow Direction (Dirección del flujo) de la zona investigada.....	47
Figura 12. Subcuenca hidrográfica del Río Huancabamba hasta el área investigada...	48
Figura 13. Distribución tipo IA- SCS.....	53
Figura 14. Modelo hidrológico con Hec-HMS.....	54
Figura 15. Redes tributarias al punto proyectado en Hec-HMS.....	55
Figura 16. Software Hec-RAS v.5.0.....	55
Figura 17. TIN del cauce del área investigada.....	56
Figura 18. Malla generada con celdas de 5 x 5 cm.....	56
Figura 19. Ventana de edición del valor de rugosidad de Manning.....	57
Figura 20. Ventana de ingreso de los hidrogramas Río Huancabamba.....	58
Figura 21. Ventana de ingreso de los hidrogramas Qda. Chula.....	58
Figura 22. Visualización RAS Mapper de la zona investigada.....	59
Figura 23. Ventana de configuración computacional de la simulación.....	60
Figura 24. Flujo tributario de la Qda. Angostura.....	63
Figura 25. Hidrograma combinado del Río Huancabamba y Qda. Chula (Tr=100 años).....	65
Figura 26. Hidrograma combinado del Río Huancabamba y Qda. Chula (Tr=50 años).....	67

Figura 27. Hidrograma combinado del Río Huancabamba y Qda. Chula (Tr=25 años).....	69
Figura 28. Confluencia de la Qda. Chula con el Río Huancabamba..	71
Figura 29. Progresiva 1+220 hasta 1+550 (Sector La Perla).....	72
Figura 30. Sección transversal 1+390.00.....	73
Figura 31. Progresiva 0+100 hasta 1+000.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Caudales generados en la simulación para Tr = 100 años.....	81
Anexo 2. Hidrogramas de flujo máximo del Río Huancabamba para Tr = 100 años.....	88
Anexo 3. Hidrogramas de flujo máximo de la Qda. Chula para Tr = 100 años.....	89
Anexo 4. Hidrogramas combinados del Río Huancabamba y la Qda. Chula para Tr = 100 años.....	90
Anexo 5. Perfiles longitudinales antes y después de la simulación para Tr = 100 años	91
Anexo 6. Secciones transversales en el Río Huancabamba para Tr = 100 años.....	95
Anexo 7. Secciones transversales en la Qda. Chula para Tr = 100 años.....	105
Anexo 8. Mapa de Subcuenca Huancabamba.....	106
Anexo 9. Mapa de estaciones meteorológicas.....	107
Anexo 10. Mapa de Subcuenca Huancabamba modelo Hec-HMS.....	108
Anexo 11. Mapa de zonas inundables para Tr = 100 años.....	109
Anexo 12. Mapa de tirantes para Tr = 100 años.....	110
Anexo 13. Mapa de velocidades para Tr = 100 años.....	111

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: “Determinación de zonas inundables mediante simulación hidráulica bidimensional aplicando Hec-RAS v.5.0, en un tramo del Río Huancabamba desde la quebrada Chula hasta la quebrada Lungulo, provincia de Huancabamba, departamento de Piura”, ha sido elaborada en razón de proponer aportes especializados en el campo de la Ingeniería Agrícola ante la presencia ocasional de precipitaciones de gran intensidad durante los periodos lluviosos que generalmente se activan con mayor frecuencia entre los meses de diciembre y abril en un año y otro, ocasionando el incremento de los caudales de los ríos, así como el colapso de los sistemas de drenaje, pérdida de áreas de cultivo y deficiente evacuación de aguas pluviales.

El propósito de la tesis es determinar las zonas inundables mediante la simulación hidráulica, la cual se logró aplicando el modelo Hec-RAS v.5.0, para el análisis y evaluación bidimensional del comportamiento hidráulico en el tramo de estudio del Río Huancabamba. Al respecto es preciso hacer notar que la aplicación de este modelo no ha sido difundida para el análisis de eventos extremos.

La investigación arribó la identificación de puntos críticos vulnerables ante escenarios de desborde con periodos de retorno $Tr = 25$ años, $Tr = 50$ años y $Tr = 100$ años, a fin de determinar los caudales, hidrogramas de flujo, velocidades, así como también se obtuvieron vistas de las secciones transversales en las zonas inundables, perfiles longitudinales del cauce antes y después de la simulación que se señalan en las conclusiones, desde la confluencia de la quebrada Chula hasta la quebrada Lungulo, que se encuentra aguas abajo de la zona urbana de la ciudad de Huancabamba. Dicha investigación servirá al supremo gobierno en sus tres niveles: Central, Regional y Local, incluir en sus Planes de Prevención, Emergencia y Rehabilitación, es decir, proyectos debidamente sustentados, ante futura presencia de fenómenos lluviosos.

1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justifica ante la evidente problemática que se torna preocupante en las regiones de nuestro país por los diferentes desbordes que se vienen suscitando en los últimos tiempos, frente a ello surge la necesidad de identificar puntos críticos que permitan con la construcción de obras de infraestructura hidráulica a fin de disminuir los impactos negativos ocasionados por el aumento del caudal del Río Huancabamba que hacen vulnerable de manera física, natural y económicamente a la población.

La aplicación del Hec-RAS v.5.0 en la zona investigada, puede considerarse como una orientación para aplicarse en otras investigaciones de características similares para periodos de máximas avenidas, de tal manera que resulte importante la evaluación del comportamiento de un río para la gestión de proyectos de esta índole.

Se considera importante que un modelo matemático como el Hec-RAS v.5.0 permita simular escenarios extremos de inundación en poco tiempo empleando solo un computador; además de hacer posible el análisis del comportamiento hidráulico de un cauce para determinar puntos críticos y las áreas que podrían ser invadidas por los desbordes del río ante un escenario de máxima avenida.

Así mismo es un aporte para plantear medidas de prevención orientadas a reducir la vulnerabilidad en las zonas poblacionales, infraestructura vial, obras de riego y abastecimiento poblacional, porque podrían estimarse los daños humanos y materiales del ámbito poblacional de Huancabamba ante la presencia de caudales extremos, de tal modo que se puedan evitar o al menos minorar las pérdidas ocasionadas en dichos escenarios; por ejemplo las viviendas próximas al cauce construidas sin criterio técnico presentan un nivel alto de exposición y vulnerabilidad debido al desgaste y erosión de las riveras del mismo, afectando a la población asentada en esta zona.

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. General

Determinar zonas inundables mediante simulación hidráulica bidimensional aplicando el modelo Hec-RAS v.5.0 en el tramo desde la quebrada Chula (Km 2.42) hasta la quebrada Lungulo (Km 5.51) del cauce del Río Huancabamba.

1.2.2. Específicos

- a) Determinar los caudales máximos del Río Huancabamba para diferentes periodos de retorno empleando métodos de transformación precipitación escurrimiento.
- b) Analizar y evaluar las características hidráulicas del Río Huancabamba del tramo investigado aplicando el modelo Hec-RAS v.5.0.
- c) Identificar y elaborar mapas de zonas inundables para diferentes periodos de retorno, usando metodología del modelo bidimensional mediante la aplicación del Hec-RAS v.5.0.

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La simulación hidráulica bidimensional mediante el modelo Hec-RAS v.5.0 permite determinar zonas inundables del cauce del Río Huancabamba en el tramo desde la quebrada Chula (Km 2.42) hasta la quebrada Lungulo (Km 5.51).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

LLUÉN C, W (2015). En la investigación “Aplicación de la nueva herramienta Hec-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos” se sostiene que la Modelación hidráulica del Río Ter en dos dimensiones empleando Hec-RAS 5.0 a través del RAS Mapper incorpora las herramientas básicas para la modelización en dimensiones. La particularidad más notable al momento de adecuar la malla 2D al terreno subyacente es el tiempo empleado, si hablamos de evaluar grandes llanuras de inundación.

Destaca la importancia de los parámetros computacionales como son: la dimensión de malla y paso de tiempo computacional, pues permiten asegurar la estabilidad del modelo. Respecto al caso del modelo netamente 2D, sostiene que debido a que no existe un patrón de comparación real, puesto que se usaron valores de hidrograma proyectados, no se podría asegurar si la mancha de agua mostrada en su investigación ofrece valores cercanos a la realidad, pero sí, rescatar la similitud que tienen ambos al momento de presentar los resultados en el pos proceso.

ROMERO L, E. CASIMIRO L, W (2015). El trabajo de investigación “Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú” evalúa la aplicabilidad de distintos métodos de completación de datos faltantes de la precipitación, en seis estaciones pluviométricas durante el periodo de 1992-2007 en la cuenca del Río Jequetepeque, Perú. Primero, se realizó el Análisis Exploratorio de Datos (AED) para determinar la existencia de valores atípicos de la información obtenida de la base datos del ANA (Autoridad nacional del Agua). Estos métodos corresponden a regresión lineal, razones de distancias, promedios vecinales, razones promedio y correlaciones con estaciones vecinas, propuestos por UNESCO-ROSTLAC, en

1982, en el marco del balance hídrico para América del Sur. Además se agregó el método de completación por regresión múltiple y el método del vector regional.

Los métodos se analizan a través del coeficiente de determinación (R^2), error estándar de estimación (EEE), Pruebas de Bondad de Ajuste (PBA) y análisis de varianza (ANOVA), con los que se determina que método presenta mejor ajuste para la cuenca del río Jequetepeque. Según el ACBA, el mejor método de completación de datos para las estaciones de San Juan, Asunción y Contumaza es el vector regional, en las estaciones Levis y Magdalena el mejor método es el de regresión lineal, la regresión múltiple se presenta como mejor resultado en la estación Llapa, en los valores obtenidos del R^2 y EEE el mejor método es el vector regional en todas las estaciones.

BRUNNER W, G (2014). En la investigación "Combinación de modelos 1D y 2D con Hec-RAS". Respecto a las ventajas/capacidades del modelo de flujo en dos dimensiones; explica que las capacidades de enrutamiento de flujo de dos dimensiones en Hec-RAS se han desarrollado para permitir al usuario realizar un modelo combinado 1D/2D. El algoritmo del modelo de flujo 2D en Hec-RAS tiene los siguientes atributos:

- a) **Puede realizar 1D, 2D, y además modelar combinando 1D y 2D.** Hec-RAS puede realizar los modelos siguientes: Modelo unidimensional (1D), Modelo bidimensional (2D) (sin elementos 1D), Modelos combinados 1D y 2D. La capacidad de realizar modelos combinados 1D y 2D dentro del mismo modelo de flujo inestable permitirá a los usuarios trabajar en sistemas fluviales más grandes, utilizando modelización 1D cuando proceda (por ejemplo: el sistema de río principal), y modelo en 2D en áreas que requieren un mayor nivel de fidelidad hidrodinámica.
- b) **Ecuaciones de Onda de Difusión en 2D.** El programa resuelve las ecuaciones bidimensionales completas de Saint Venant 2D. En general, las ecuaciones de onda de difusión 2D permiten que el software funcione más rápido, y tienen mayores propiedades de estabilidad. Mientras que las ecuaciones Full Saint Venant 2D son más aplicables a una gama más amplia de problemas. Sin embargo,

muchas situaciones de modelado se pueden modelar con precisión con las ecuaciones de onda de difusión 2D. Puesto que los usuarios pueden cambiar fácilmente entre los sistemas de ecuaciones, cada uno puede intentar para cualquier problema dado ver si el uso de las ecuaciones completas de Saint Venant 2D está garantizado.

- c) **Algoritmo de Solución de Volumen Finito Implícito.** El solucionador de ecuaciones de flujo inestable 2D utiliza un algoritmo de volumen finito implícito que permite pasos de tiempo computacional más grandes que los métodos explícitos. El enfoque de volumen finito proporciona una medida de estabilidad mejorada y robustez sobre las diferencias tradicionales finitas y técnicas de elementos finitos. Las áreas de flujo 2D pueden empezar a secarse completamente y manejar una repentina avalancha de agua en el área. Además, el algoritmo puede manejar los regímenes de flujo subcrítico, supercrítico y mixto (flujo que pasa a través de la profundidad crítica, como un salto hidráulico).
- d) **Algoritmo de Solución Acoplado 1D y 2D.** Los algoritmos de solución 1D y 2D están estrechamente acoplados en una etapa paso a paso del tiempo con una opción para iterar entre las transferencias de flujo 1D y 2D dentro de un paso de tiempo. Esto permite la retroalimentación directa cada vez que hay paso entre los elementos de flujo 1D y 2D. Por ejemplo, considerando un río que se modela en 1D con el área detrás de un dique se puede modelar en 2D (conectado hidráulicamente con una estructura lateral). El flujo sobre el dique (estructura lateral) y/o a través de cualquier brecha de dique se computa con una cabecera del río 1D y una Tailwater del área de flujo 2D a la cual está conectada. La ecuación del vertedero se utiliza para calcular el flujo sobre el dique y a través de la brecha. Cada paso del tiempo la ecuación del vertedero utiliza los resultados 1D y 2D para calcular el flujo que permite la contabilización exacta de la sumersión del vertedero, cada paso del tiempo, como el área interior se llena para arriba. Además, el flujo puede volver a salir de la brecha (desde el área 2D hasta el alcance 1D), una vez que las etapas del río se desbordan.

e) **Mallas Computacionales Estructuradas o no Estructuradas.** El software fue diseñado para utilizar mallas computacionales estructuradas o no estructuradas. Esto significa que las celdas computacionales pueden ser triángulos, cuadrados, rectángulos, o incluso elementos de cinco y seis lados (el modelo se limita a los elementos con hasta ocho caras). El límite exterior de la malla computacional se define con un polígono. Las celdas computacionales que forman el límite exterior de la malla pueden tener líneas de múltiples puntos muy detalladas que representan la cara o las caras externas de cada celda.

f) **Propiedades detalladas de la Tabla Hidráulica para Celdas Computacionales y Celdas Frontales.** Dentro de Hec-RAS, las celdas computacionales no tienen un fondo plano, y las celdas frontales no tienen que ser línea recta, con una sola elevación. En su lugar, cada celda computacional y celda frontal se basan en los detalles del terreno subyacente. Cada celda, y celda frontal, de la malla computacional se procesa previamente con el fin de desarrollar Tablas de propiedades hidráulicas basadas en el terreno subyacente utilizado en el proceso. Por ejemplo, considerando un modelo construido a partir de un modelo de terreno detallado (2 pies de cuadrícula – resolución de celda) con un tamaño de celda de cálculo de 200 x 200 pies.

El preprocesador de malla 2D calcula una relación de elevación-volumen, basada en los datos de terreno detallado (cuadrícula de 2 pies), dentro de cada celda. Por lo tanto, una celda puede estar parcialmente húmeda con el correcto volumen de agua para el WSEL basándose en los datos de la cuadrícula de 2 pies.

Adicionalmente, cada celda computacional frontal se evalúa similar a una sección transversal y se procesa previamente en tablas detalladas de propiedades hidráulicas (elevación frente a Perímetro, área, rugosidad, etc.). El flujo que se mueve a través de las celdas se basa en estos datos detallados. Esto permite al modelo utilizar celdas, sin perder demasiado los detalles del terreno subyacente que rige el movimiento del flujo.

Además, la colocación de las celdas frontales controla las características del terreno (carreteras, terreno elevado, paredes, etc.) y pueden mejorar los cálculos hidráulicos utilizando menos celdas en general. El efecto neto de las celdas más

grandes equivale a menos cálculos, lo que significa que el tiempo de ejecución es mucho más rápido.

- g) **Mapeo Detallado de Inundaciones y Animaciones de Inundación.** Mapeo de la zona inundada, así como las animaciones de la inundación se pueden hacer dentro de RAS utilizando el RAS Mapper. La cartografía de las Áreas de Flujo 2D se basa en el terreno subyacente. Esto significa que el área mojada se basará en los detalles del terreno subyacente, y no el tamaño de la celda de malla computacional. Computacionalmente, las celdas pueden ser parcialmente húmedas / secas (así es como se calculan en el algoritmo computacional). La cartografía reflejará esos detalles, en lugar de limitarse a mostrar una celda computacional ya sea toda húmeda o toda seca.
- h) **Algoritmo de Solución Basado en el Multiprocesador.** El área de flujo 2D computacional fue programada para usar los multiprocesadores en una computadora. Este algoritmo de solución ejecuta más rápido que el código no paralelo. Las computadoras que tengan más procesadores podrán hacer Modelos de flujo 2D más rápido que los equipos de un único procesador.

BUSTAMANTE H, Y (2013). La tesis “Modelamiento Numérico de una Onda de Avenida Generada por la Rotura de una Presa de Tierra y su Estimación de Riesgo – Aplicación a la Presa Yuracmayo” sostiene que para realizar el modelamiento numérico de una rotura de presa se requiere de algunos elementos previos como son las características geométricas de la presa, una topografía a escala adecuada de la zona de estudio, valores de rugosidad del valle aguas abajo, las condiciones iniciales de contorno del río en estudio, además, de la extensión del software ARCGIS, llamado Hec-GeoRAS. Para realizar el modelamiento hidráulico esta tesis describe los pasos necesarios, tales son:

- a) Creación del Modelo digital del terreno en formato TIN (Triangular Irregular Network o Red de Triángulos Irregulares), se hace con las curvas de nivel adecuadas. Ese MDT es la representación digital aproximada de la zona de estudio.
- b) Dibujo del cauce, en el cual se define el eje del río en estudio, para ello se trazó una poli línea dibujando el tramo del río. La línea del cauce se dibuja de aguas arriba

hacia aguas abajo siguiendo el cauce principal. Existiendo afluentes, el procedimiento es similar para cada tramo, y por último, se define el nombre del río y el tramo estudiado.

- c) Delimitación del cauce, se refiere a la delimitación del cauce principal del río “Banks”, esto es por donde normalmente circula el flujo de agua, se hace con el fin de diferenciar los coeficientes de rugosidad de Manning para el río y las llanuras de inundación. Al dibujar los Banks, se trazó poli líneas a la izquierda y derecha del río siguiendo el cauce trazado anteriormente.
- d) Delimitación de las zonas límites de inundación “Flowpaths”, son las líneas que definen el flujo de agua, tanto margen izquierdo, como del derecho, y del centro del río. Son importantes pues delimitan la zona del cauce principal y la llanura de inundación.
- e) Creación de secciones transversales “XS CutLines”, esta acción define cada una de las secciones transversales, dibujando líneas de izquierda a derecha a través del cauce principal, dentro de los límites de la llanura de inundación. Cada sección transversal debe ser perpendicular al cauce y no se deberán cruzar. Es importante que la distancia entre secciones sea muy estrecha para garantizar un buen detalle en el estudio. En la tesis de este autor, para la simulación se ha logrado crear el cauce, los Banks, los FlowPaths y las secciones transversales, los cuales están en 2D.

LLUEN C, E (2013). En la tesis “Aplicación de la nueva Herramienta Hec-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos” se destaca la importancia de la evolución de las capacidades de los modelos numéricos para representar fenómenos naturales por la necesidad de predecirlos para anticipar medidas preventivas sobre la zona de influencia al paso del agua. Su tesis demuestra lo novedoso de Hec-RAS 5.0, así como entender sus capacidades y limitaciones. Señala que en el manejo del software Hec-RAS 5.0 se presenta una interfaz gráfica, que incluye un icono con la extensión RAS Mapper, con el cual, inicia el proceso de modelización en 2D, y en donde además, se pueden apreciar los resultados de forma interactiva. La interfaz RAS Mapper es una herramienta que surge como una versión básica de ArcGIS, con la intención de mostrar los resultados de la modelización hidráulica, principalmente,

representar la llanura de inundación que ocasionaría el desborde de algún curso de agua. Respecto a la generación de la geometría 2D señala que el esquema numérico empleado en Hec-RAS, permite generar mallas estructuradas y no estructuradas. De manera resumida, el proceso consiste en dibujar un polígono que encierre el área a evaluar, indicar el tamaño de malla que se empleará en la modelización y finalmente dibujar el borde donde se impondrán las condiciones de contorno. El autor señala que Hec-RAS 5.0, permite la conexión de áreas de flujo 2D y 1D a través de elementos hidráulicos. Y va depender del tipo de información que deseemos obtener de la modelización, así por ejemplo, si se quiere conocer detalles del flujo de agua en el cauce principal de un río, se puede modelar con una malla en dos dimensiones; sin embargo si sólo se requiere conocer los efectos del flujo sobre el área inundable se puede modelar el cauce en 1D y dicha área en 2D. Es así que Hec-RAS 5.0 ofrece 7 posibles formas de trabajar con modelos 1D/2D, tales como:

- a. Conexión de Área de Flujo 2D con Tramo de Río 1D a través de una estructura lateral.
- b. Conexión directa entre Tramo de Río 1D (aguas arriba) con Área de flujo 2D (aguas abajo).
- c. Conexión directa entre Área de Flujo 2D (aguas arriba) con Tramo de Río 1D (aguas abajo).
- d. Conexión de Área de Flujo 2D con Área de almacenamiento de agua usando una estructura hidráulica.
- e. Conexión de Área de Flujo 2D con otra Área de Flujo 2D usando una estructura hidráulica.
- f. Conexión de Múltiples Áreas de Flujo 2D con una simple geometría 1D.
- g. Conexión de estructuras hidráulicas dentro del Área de Flujo 2D.

SEGURA S, L y CASASOLA R, A (2011). En el trabajo final de graduación “Modelación Hidráulica para el Análisis y Propuesta de Obras de Mitigación de Inundaciones en Finca Valle La Estrella” se sostiene que el proceso de modelación se da en tres fases que se denominarán, Pre proceso, Proceso y Post proceso. El Pre proceso y Post proceso se realizó en ArcView GIS y el Proceso que es la modelación hidráulica en Hec-RAS.

En el Pre proceso utilizando ArcView GUS, se crea un proyecto con un nombre determinado por los autores y se generó un TIN que muestra las elevaciones naturales del terreno. En esta fase se digitalizaron las secciones transversales, aguas arriba y agua abajo tratando de que la sección sea perpendicular al flujo del agua. Hecha la digitalización, se procedió a extraer la información topográfica de las secciones, posteriormente se creó un archivo compatible con Hec-RAS con los datos geométricos.

En el Proceso se aplicó el Software Hec-RAS, importando la geometría que posee las secciones transversales. Se continuó con la definición de las áreas de flujo y la digitalización de los bancos geométricos, sin embargo algunas de estos bancos se corrigieron con la herramienta Graft XS Editor para salvar el archivo geométrico. Hechas las correcciones de la geometría, se introdujeron los valores de Manning definidos para las planicies de inundación. Luego se introdujeron los caudales obtenidos y las pendientes aguas arriba y aguas abajo.

Al haberse introducido todos esos datos, se procedió a correr el modelo en la opción “*Steady Flow Analysis*”. Por último ya concluida la modelación, se creó un archivo de exportación GIS denominados por los autores, el cual cuenta con la geometría original generada en el Pre Proceso, también se creó otro archivo que contiene los bancos corregidos en Hec-RAS.

Para el Post Proceso, se utilizó de nuevo el ArcView GIS en el cual se cargó el TIN generado anteriormente y el archivo obtenido en Hec-RAS. El ArcView GIS lee el archivo de exportación GIS y el TIN de la superficie del agua para generar la delineación de las planicies de inundación con el caudal calculado por los autores, quienes finalmente definen los ajustes y detalles de la presentación de los mapas correspondientes a su investigación.

TORRES Q, E (2010). En la investigación “Aplicación del Modelo de Simulación Hidráulica Hec-RAS para la emisión de Pronósticos Hidrológicos de Inundaciones en Tiempo Real, en la Cuenca Media del Río Bogotá – Sector Alicachin” se sostiene

que la aplicación del modelo Hec-RAS, para efectos de la investigación constituye tres pasos fundamentales:

1. Paso: Crear por medio de herramientas de SIG como *ArcGIS – ArcView* y la extensión *Hec-GeoRAS*, los modelos digitales de elevación – *DEM* con un archivo de importación para Hec-RAS, que contenga información geométrica de las secciones transversales, del cauce y las llanuras de inundación del sistema hídrico del Río Bogotá.
2. Paso: Aplicar la modelación del flujo permanente con el modelo Hec-RAS 4.1.0, el cual genera un archivo de exportación para *ArcGIS – ArcView* y un;
3. Paso: Generar los resultados de la mancha de agua: superficies de inundación y grids de profundidad.

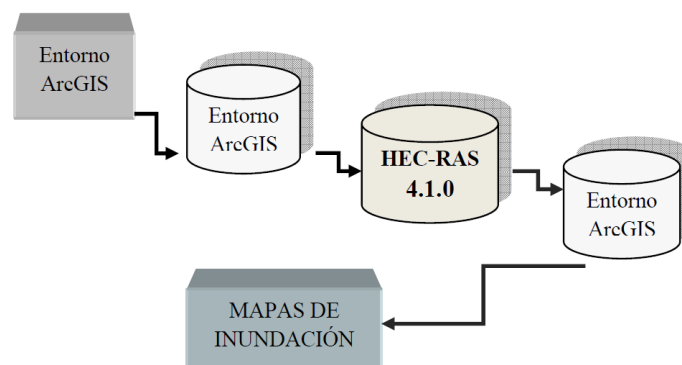


Figura 1. Proceso de Simulación Hidráulica

Elaborado por autor citado

La modelación con Hec-RAS permite calcular para las diferentes configuraciones de caudales para las secciones transversales a lo largo de los dos tramos estudiados del cauce del río Bogotá valores simulados de los niveles de agua, las profundidades de flujo y las velocidades, entre otras variables. Esta herramienta Hec-GeoRAS 4.2.9 genera resultados finales en donde se puede visualizar la mancha de agua, las superficies de inundación para cada periodo de retorno establecido, los niveles de agua, grids de profundidad, etc. y se pueden representar en un DEM siendo posible determinar los límites de las áreas de inundación, calcular las áreas de inundaciones y de esta manera determinar el cauce natural.

IBARRA G, D (2009). En el proyecto denominado "Simulación Hidráulica del Río Usumacinta" Los Modelos Bidimensionales se pueden dividir en esquemas clásicos y esquemas de alta resolución. Los esquemas clásicos se han utilizado con buenos resultados para flujo gradualmente variable, pero no sirven en general para rápidamente variable.

Para la resolución de las ecuaciones de Saint Venant en dos dimensiones utiliza el método de las características, métodos en diferencias finitas y métodos en elementos finitos, pero en el caso bidimensional además se ha utilizado la técnica de discretización en volúmenes finitos. Expone que si se tienen zonas con un comportamiento claramente bidimensional (llanuras de inundación) se debe recurrir a modelos cuasi bidimensionales o modelos bidimensionales. El primer caso requiere habilidad y experiencia en este tipo de situaciones y el segundo requiere una topografía muy detallada para dar resultados fiables. Las simulaciones dependen de la calidad de la topografía que se tenga, el tipo de régimen, el Coeficiente de Manning, etc.

GIMENEZ F, JC (1998). En la investigación "Sistema de Análisis de ríos y Guía de Referencia Hidráulica". La geometría para el análisis del flujo de agua en cursos naturales se especifica con las secciones transversales y las distancias medidas entre ellas. Las secciones transversales están localizadas a lo largo de un curso, para caracterizar la capacidad que tiene un curso y sus márgenes, para transportar caudal. Estas secciones deberían extenderse a las márgenes enteras y deberían ser perpendiculares a las líneas de flujo (aproximadamente perpendiculares a las curvas de nivel).

Ocasionalmente, será necesario disponer de secciones en una alineación curvada o codos. Deberá hacerse un esfuerzo para obtener secciones transversales que representen con aproximación la geometría del cauce y sus márgenes. Son necesarias secciones transversales en localizaciones representativas de un tramo y en localizaciones donde haya cambios de caudales, pendiente, forma o rugosidad, en puentes o estructuras de control, tales como vertederos, reservorios o presas. Donde hay cambios bruscos, se deberían usar varias secciones transversales para describir los cambios, independientemente de la distancia. El espaciamiento de las secciones

es también función del tamaño del cauce, pendiente y de la uniformidad de las secciones (forma). En general, ríos grandes de pendientes pequeñas requieren normalmente menor número de secciones por kilómetro.

Cada punto en una sección se corresponde con una distancia horizontal desde un punto de comienzo a la izquierda. Se pueden utilizar hasta 500 puntos para describir una sección. Los datos de la sección se definen siempre mirando en la dirección del flujo. En el programa se considera que tiene distancias más bajas en el lado izquierdo y más altas en el derecho.

Cuando las cotas de lámina de agua de caudales correspondiente a determinados periodos de retorno están por encima de las cotas de los puntos extremos que definen la sección, el programa prolonga verticalmente esos puntos y aparecerá una nota que nos indica que esa sección tuvo que ser ampliada. Y el programa añade perímetro mojado adicional para el agua que entra en contacto con las paredes prolongadas.

El autor sostiene que el esquema del río es necesario para los datos geométricos dentro del Hec-RAS. El esquema define como se conectan los tramos en el río de estudio y establece una designación para poder referenciar los demás datos. El usuario debe hacer el esquema antes de introducir cualquier otro dato. Cada tramo en el río lleva un único identificador y cuando se introducen otros datos, estos están referenciados a un tramo específico.

El software Hec-RAS tiene capacidad para modelar flujo que se bifurca, así como flujo que se combina. La versión del modelo de flujo estacionario dentro de la versión 2.2 de esta investigación, no determina el caudal que va a cada tramo en una bifurcación. Normalmente, el usuario tiene que definir el caudal en cada tramo. Después se hace una simulación, y el usuario debe ajustar los caudales en los tramos para obtener un balance de energía en la unión.

2.2. BASE TEÓRICA

2.2.1. Cuenca hidrográfica

Aparicio Mijares (1993). Es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. Esta definición se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial.

El orden de corrientes se determina como se muestra en la figura 2. Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de primer orden, etc. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc., pero, por ejemplo, una corriente de orden 2 y una de orden 3 forman otra de orden 3. El orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida, depende en mucho de la escala del plano utilizado para su determinación.

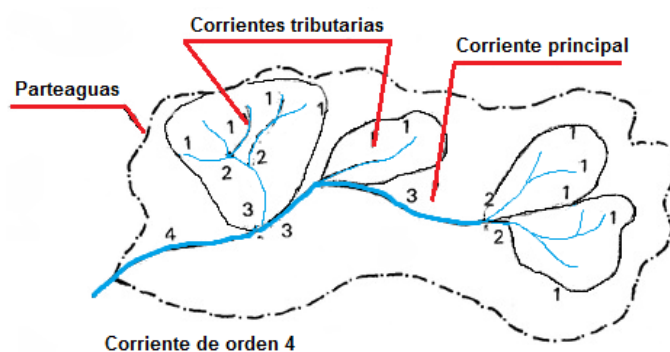


Figura 2. Orden de corrientes de la cuenca

Fuente: Aparicio Mijares

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.



Figura 3. Cuenca endorreica

Elaboración propia



Figura 4. Cuenca exorreica

Elaboración propia

2.2.2. Río

Rocha Arturo (1998). El río es, pues, el elemento de drenaje de la cuenca. Sin embargo, un río no sólo lleva agua sino también materiales sólidos que provienen de la erosión de la cuenca. En general los ríos tienen fondo móvil, aunque no todos, ni siempre. En un río prácticamente no existe movimiento permanente, porque el caudal está variando continuamente (a veces, lentamente; otras, rápidamente). No hay movimiento uniforme, pues la sección transversal es muy cambiante a lo largo de su recorrido.

2.2.3. Hidrología Fluvial

Vide Martín (2003). Se entiende como el estudio de la secuencia en que se presentan los caudales de un río y hablamos de régimen hidrológico para referirnos a explicaciones causales de las regularidades. Una idea implícita en el estudio de los ríos es que las regularidades se pueden estudiar en escala temporal del año. Así, con los datos diarios de un año se caracteriza el régimen hidrológico de un río, más o menos permanente, mientras años de aguas abundantes o escasas son irregulares en una secuencia interanual (secuencias formadas con un dato de aportación total por año). Ordenando de mayor a menor los caudales medios diarios anuales se forma la curva de caudales clasificados o de frecuencia de caudales, cuya área es la aportación anual. Esta curva contiene los primeros datos fundamentales para caracterizar un río. Además del régimen anual, los ríos experimentan fenómenos de crecida o avenida de carácter extraordinario.

En las avenidas la atención se fija en primer lugar en el caudal máximo instantáneo, mayor que el medio diario correspondiente. La forma del hidrograma de avenidas es también importante en el estudio de un río. La duración de caudales elevados cercanos al máximo o la pendiente de las curvas de ascenso o descenso (esta última más suave generalmente) influyen en la acción del agua sobre el cauce. Los fenómenos transitorios de erosión del cauce están relacionados con la forma del hidrograma.

2.2.4. Hidráulica Fluvial

Rocha Arturo (1998). Manifiesta que la Hidráulica Fluvial tiene mucho que ver con el comportamiento de importantes estructuras hidráulicas. Así, las bocatomas son obras construidas en un río con el objeto de captar sus aguas para utilizarlas en un proyecto hidráulico. El diseño, construcción y operación de una bocatoma es un importante tema la Hidráulica Fluvial, pues su implementación significa una modificación profunda en el escurrimiento fluvial, para el aprovechamiento de los ríos se recurre también a la construcción de presas con el objeto de regular caudales. Cuando las presas están ubicadas sobre el lecho de los ríos representan cambios fluviomorfológicos importantes, como erosión y sedimentación. La pérdida de volumen útil de los embalses y los métodos de lucha para mantenerlos forman parte de la Hidráulica Fluvial.

En segundo lugar, se debe considerar a los ríos como elementos naturales de los cuales tenemos que defendernos. Las avenidas son fenómenos naturales, producto de la aparición de determinadas condiciones hidrometeorológicas. Una inundación, en cambio, es el desbordamiento de un río por incapacidad del cauce para contener el caudal que se presenta.

La inundación es, pues, un fenómeno de tipo hidráulico, prueba de ello es que pueden ocurrir inundaciones sin que haya crecidas o un evento hidrometeorológico extraordinario. Las obras de control y el tratamiento del problema de las avenidas e inundaciones son parte de la Hidráulica Fluvial. La tercera idea que se debe tener presente con relación a un río es su protección. Se debe proteger al río de la agresión humana.

El río es un gran dren colector de la cuenca, no solo del agua, sino de todo aquello que está en contacto con ella. Los ríos conducen sustancias contaminantes de un lugar a otro. En el Perú casi todos los ríos están contaminados. Se debe, pues, luchar contra la contaminación para que de ese modo sea más fácil y económico el aprovechamiento de los ríos. Las tres características señaladas en el estudio de los ríos hacen ver que la Hidráulica Fluvial tiene que ubicarse dentro del estudio y tratamiento integral de la cuenca.

2.2.5. Tránsito de avenidas

Rocha Arturo (1998). Cuando ocurre una avenida, o simplemente, un aumento de caudal, también aumentan la velocidad media de la corriente, la fuerza tractiva y la capacidad de transporte. Es esta una forma de originarse la erosión y que puede conducir a un acorazamiento del lecho, a una erosión generalizada, a erosiones locales en determinados puntos.

2.2.6. Inundaciones

Bustamante Huamán (2013). Las inundaciones son un evento catastrófico y recurrente para un río. Se produce cuando lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de infiltración y retención del suelo. La capacidad máxima de transporte del río es superada y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos cercanos a los propios cursos del agua. Las inundaciones generan daños en el entorno de las personas, sus bienes e infraestructura, y además de causar graves daños al medio ambiente. Las inundaciones pueden clasificarse según su duración y mecanismo de generación.

2.2.7. Identificación de zonas de riesgo

Bustamante Huamán (2013). Para la estimación del riesgo de inundación generado por desborde de un río, se requiere analizar la afección que dicho desborde provoca a las diferentes áreas donde existan poblaciones, servicios esenciales, estructuras hidráulicas, etc. a lo largo del cauce o llanuras de inundación. Entonces, se deberá identificar las áreas afectadas a fin de clasificar el riesgo, como afecciones graves a núcleos urbanos, pérdidas incidentes de vidas humanas, daños materiales, daños medio ambientales, obstrucciones en el cauce y otras afecciones a consecuencia de una inundación.

2.2.8. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Bustamante Huamán (2013). Es un sistema de software, hardware y procedimientos, diseñados para soportar la captura, administración, manipulación, análisis, modelamiento y graficación de datos u objetos referenciados espacialmente.

Es una tecnología que por medio de equipos informáticos maneja informaciones geográficas como son los datos espaciales (mapas o representaciones cartográficas de enclaves naturales o urbanos) y los datos temáticos (tablas que contienen la información alfanumérica). La capacidad de los SIG para obtener, procesar y representar los resultados en forma de mapas temáticos resulta fundamental para estudios hidrológicos y en especial para el análisis de riesgo en inundaciones fluviales.

2.2.9. Simulación Hidráulica

Rocha Arturo (1998). Las simulaciones hidráulicas nos presentan una manera de análisis de la interrelación entre la topografía del cauce de un río, y los volúmenes de agua transportados, así como la manera que influyen en el nivel de agua las obstrucciones u obras hidráulicas que se presenten a lo largo de su cauce. Permite determinar los niveles de aguas máximas, llanura de inundación, velocidades y otros parámetros hidráulicos, para avenidas extremas con diferentes periodos de retorno; de manera se visualice el comportamiento del flujo de acuerdo a las características geomorfológicas del cauce.

2.2.10. Hec-RAS

Lluén Waly (2015). Manifiesta que es un software de uso libre, cuyo proceso evolutivo ha venido desarrollando nuevas herramientas de trabajo para el análisis de flujo en diferentes condiciones. Esta evolución va desde la versión 2.2, la cual analiza el flujo de forma unidimensional en condiciones permanentes, hasta la actual versión 5.0, que permite la modelización en una y dos dimensiones para condiciones permanentes y no permanentes.

2.2.11. Modelo

Rocha Arturo (1998). Un modelo representa de una manera simplificada la complejidad de la naturaleza. Esta simplificación, o mejor, esquematización, es completamente lícita puesto que para el planteamiento y solución de un problema se requiere “construir un modelo”, es decir, simplificar la realidad. Modelo es toda esquematización de la realidad hecha con fines de estudio.

2.2.12. Modelo Hidráulico

Rocha Arturo (1998). Es una representación esquemática, a escala, de una porción de la naturaleza y de las obras proyectadas en ella. El modelo debe entenderse como un complemento, no como un elemento sustitutorio. Se debe proporcionar al modelo la mayor cantidad posible de datos, de la mejor calidad, para que el modelo a su vez nos dé información valiosa.

2.2.13. Modelos Bidimensionales

Bustamante Huamán (2013). Los modelos bidimensionales utilizan la técnica de discretización de volúmenes finitos. Todas estas aproximaciones pueden servir para obtener métodos de alta resolución, pero la técnica de volúmenes finitos es la más adecuada. Estos métodos de alta resolución se han usado con buenos resultados para regímenes gradualmente variados, pero no para regímenes rápidamente variables.

2.2.14. Modelación Hidráulica Bidimensional

Lluén Waly (2015). Para ejecutar un modelo bidimensional, se requiere de una serie de configuraciones previas, que involucran establecer tolerancias de cálculo que permitan obtener resultados coherentes, dos de los más importantes parámetros que hay que configurar son: el tamaño de malla y el paso de tiempo de cómputo. El tamaño de malla; nos permitirá que el modelo se adecue apropiadamente al terreno y de esa forma pueda concluir todas las obstrucciones presentes. El paso de tiempo de cómputo; está relacionado al Número de Courant, que se obtiene de la relación entre espacio, velocidad y tiempo; siendo conocido

que dicha relación debe ser menor igual a la unidad. Ambos serán necesarios para obtener buena precisión numérica y reducir al mínimo el tiempo de cálculo.

2.2.15. Modelos Digitales del Terreno (MDT)

Felícísimo Ángel (1994). Los MDT son una categoría de modelos simbólicos como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio.

2.2.16. Coeficiente de rugosidad de Manning

Felícísimo Ángel (1994). El coeficiente de rugosidad de Manning que se utiliza en el cálculo de la resistencia friccional en un río, debe considerar además de las pérdidas friccionales propiamente tales a las pérdidas singulares que se producen continuamente en el cauce, debido a los cambios de las secciones, depósitos, socavaciones, curvas, vegetación...etc.

Estas pérdidas singulares continuas producen un aumento en la turbulencia y aumentan considerablemente al coeficiente de rugosidad. De esta manera se trata de un coeficiente global. El cálculo de las alturas de agua en un cauce natural es indudablemente sólo una primera aproximación y deben aceptarse errores propios del cálculo.

2.2.17. Estimación hidráulica de coeficientes de rugosidad de Manning

W. L. Cowan (1956), desarrolló un procedimiento sistemático para estimar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning. (“Estimating hydraulic roughness coefficients”). Este investigador propuso utilizar el siguiente procedimiento de cálculo:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m$$

El significado de los diversos términos, es:

n_0 = Valor básico del coeficiente de rugosidad para un tramo recto y uniforme.

n_1 = Incremento por irregularidades de las secciones.

n_2 = Incremento por variaciones de forma y dimensiones de las secciones.

n_3 = Incremento por obstrucciones.

n_4 = Incremento por vegetación en el cauce.

m = Factor correctivo por curvas y meandros del río.

Un procedimiento aconsejable para un ingeniero poco experimentado con los coeficientes de rugosidades en ríos, es comparar el caso que debe resolver, con las fotografías publicadas en algunos textos sobre el tema, de diversos tramos de ríos con sus coeficientes medidos. Hay 2 publicaciones útiles en el tema: “Hydraulic Roughness of Rivers” de Harry Barnes (U.S Geological Survey) y el libro “Roughness characteristics of New Zealand Rivers” de D.M. Hicksy y P.D. Mason (1998) (Institute of Water and Atmospheric Research). A continuación, se indican los valores que adoptan los diversos términos del procedimiento de Cowan.

Tabla 1. Valores de los parámetros de rugosidad según Cowan

Características de la canalización	Características	Valor medio del coeficiente n.
Material del lecho: n_0	Tierra	0.020
"	Roca cortada	0.025
"	Grava fina	0.024
"	Grava gruesa	0.028
Grado de Irregularidades: n_1	Suaves	0.000
"	Pocas	0.005
"	Moderadas	0.010
"	Severas	0.020
Variaciones de la seccion: n_2	Graduales	0.000
"	Ocasionales	0.005
"	Frecuentes	0.010 - 0.015
Obstrucciones: n_3	Despreciables	0.000
"	Pocas	0.010 - 0.015
"	Muchas	0.020 - 0.030
"	Severas	0.040 - 0.060
Vegetación: n_4	Pocas	0.005 - 0.010
"	Regular	0.010 - 0.025
"	Muchas	0.025 - 0.050
"	Gran cantidad	0.050 - 0.100
Curvas: m	Pocas	1.000
"	Regular	1.050
"	Muchas	1.100

Fuente: W. L. Cowan

2.2.18. Hec-HMS

US Army Corps of Engineers (2017). El sistema de modelado hidrológico (Hec-HMS) está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas dendríticas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como la infiltración de eventos, los hidrogramas unitarios y el enrutamiento hidrológico. Hec-HMS también incluye los procedimientos necesarios para la simulación continua, incluida la evapotranspiración, el deshielo y la contabilidad de la humedad del suelo. También se proporcionan capacidades avanzadas para la simulación de escorrentía en cuadrícula utilizando la transformación de escorrentía cuasi-distribuida lineal (ModClark). Se proporcionan herramientas de análisis complementarias para la optimización del modelo, el flujo de flujo de predicción, la reducción del área de profundidad, la evaluación de la incertidumbre del modelo, la erosión y el transporte de sedimentos, y la calidad del agua.

El software presenta un entorno de trabajo completamente integrado que incluye una base de datos, utilidades de entrada de datos, un motor de cálculo y herramientas de informe de resultados. Una interfaz gráfica de usuario permite al usuario un movimiento sin interrupciones entre las diferentes partes del software. Los resultados de simulación se almacenan en HEC-DSS (sistema de almacenamiento de datos) y se pueden usar junto con otros programas para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, pronóstico de flujo, impacto de urbanización futura, diseño de aliviaderos de embalses, reducción de daños por inundación, regulación de llanuras de inundación y operación de sistemas.

2.2.19. Precipitación

Chereque Wendor (1996). Define precipitación como toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación. Respecto a su formación, debido al calentamiento de las masas de aire, estas ascienden hasta las alturas de enfriamiento suficientes para llegar a la saturación, motivado por diferencias de radiación. Pero esto no conlleva a la precipitación. Suponiendo que el aire está saturado, o casi saturado, para que se forme neblina o gotas de agua o cristales de

hielo, se requiere la presencia de núcleos de condensación (en los dos primeros casos) o de congelamiento (en el tercero). Los núcleos de condensación consisten de productos de combustión, óxidos de nitrógeno y minúsculas partículas de sal; los núcleos de congelamiento consisten de minerales arcillosos, siendo el caolín el más frecuente.

Después de la nucleación se forman finísimas gotas de diámetro medio de aproximadamente 0.02 mm y como las gotas de lluvia tienen un diámetro medio de aproximadamente 2 mm, significa que se produce un aumento del orden de un millón de veces en el volumen de las gotas. Este enorme aumento de tamaño se produce por la unión entre sí de numerosas gotas y esta unión se explica por:

- La atracción electrostática entre las gotas que conforman las nubes;
- Las micro turbulencias dentro de la masa de la nube;
- El barrido de las gotas más finas por las gotas mayores;
- La diferencia de temperaturas: las gotas más frías se engrosan a expensas de las más calientes.

Las precipitaciones se clasifican en tres grupos según el factor responsable del levantamiento del aire que favorece el enfriamiento necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación.

- a) Precipitaciones convectivas. Son causadas por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser sobre todo el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior de la capa de aire. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros.
- b) Precipitaciones orográficas. Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias," puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de donde ellas provienen. Es el caso de la Selva Alta de nuestro país, la región más lluviosa, donde las nubes provienen de la Selva Baja.

- c) Precipitaciones ciclónicas. Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde precipitan.

2.2.20. Coeficiente de Graveluis (Ic)

Cahuana Andia and Yugar Morales (2009). Sostienen que es el cociente que existe entre el perímetro de la cuenca respecto al perímetro de un círculo del área de la misma cuenca.

$$I_c = \frac{P}{P_o} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} = 0.282 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Si $I_c = 1$ la cuenca es de forma circular. Este coeficiente nos dará luces sobre la escorrentía y la forma del hidrograma resultante de una determinada lluvia caída sobre la cuenca.

Si: $I_c \approx 1$ cuenca regular; $I_c \neq 1$ cuenca irregular; (I_c grande, menos susceptible a inundaciones).

2.2.21. Factor de Forma (Ff)

Cahuana Andia and Yugar Morales (2009). Mencionan que fue definido por Horton, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal:

$$F_f = \frac{A}{L_c^2}$$

Donde:

A = Area de la cuenca, (Km²)

Lc = Longitud de la cuenca, que se define como la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta.

Esta ecuación muestra que las cuencas no son similares en forma. A medida que el área aumenta, su relación A/L^2 disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes. La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de caudales máximos, por lo que se han hecho numerosos esfuerzos para tratar de cuantificar este efecto por medio de un valor numérico.

2.2.22. Factor de Elongación (Re)

Cahuana Andia and Yugar Morales (2009). Manifiestan que fue definido por Schumm, como la relación entre el diámetro de un círculo (D) de área igual a la cuenca y la longitud de la cuenca (Lc).

$$R_e = 1.1284 * \frac{\sqrt{A}}{L_c}$$

Si Re varía entre 0.60 y 1.00 cuenca con amplia variedad de climas y geologías. Además, está fuertemente correlacionado con el relieve de la cuenca, de manera que valores cercanos a la unidad son típicos de regiones con relieve bajo, en cambio donde Re que varía de 0.60 a 0.80 está asociado a fuertes relieves y pendientes pronunciadas del terreno.

2.2.23. Distribuciones Estadísticas

Ven Te Chow (1994). Sostienen que el comportamiento de las variables aleatorias discretas o continuas se describe con la ayuda de Distribuciones de Probabilidad. La variable se designa por mayúscula y un valor específico de ella por minúscula.

- Distribución Normal

La función Normal es el modelo más utilizado y con mayor importancia en el campo de la estadística. Sin embargo, su uso es muy limitado en hidrología, dado que las variables raramente se comportan de esta forma. El uso de esta función, en términos hidrológicos, debe reducirse a zonas húmedas donde el valor medio es alto, no siendo recomendable para valores extremos.

Función de distribución de probabilidad normal:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

- Distribución Pearson Tipo III

El autor señala que esta distribución posee una gran flexibilidad y diversidad de forma, dependiendo de los valores de sus parámetros, asimilando su utilización para precipitaciones o caudales máximos anuales. La función de densidad de probabilidad Pearson III se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x-\delta}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}}$$

Donde α , β , δ son los parámetros de la función y $\Gamma(\beta)$ es la función de Gamma. Los parámetros α , β , δ se evalúan a partir de n datos medidos. Asimismo los parámetros de la distribución pueden ser estimados en función del promedio (\bar{x}) y de la desviación estándar (S) de la muestra.

- Distribución Gumbel

Según Aparicio, 1997, si se tienen N muestras, cada una de las cuales contienen “ n ” eventos y si se selecciona el máximo de “ x ” de los “ n ” eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de “ x ” tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{-d(x-\mu)}} \quad \text{Para } -\infty \leq x \leq \infty$$

Donde:

χ : Representa el valor a asumir por la variable aleatoria

e : Constante de Neper.

2.2.24. Pruebas de Bondad de Ajuste

García Conde A. J. (2013). Manifiesta “Se entiende por bondad de ajuste, la asimilación de datos observados de una variable, a una función matemática previamente establecida y reconocida. A través de ésta es posible interpolar y extrapolar información; en otras palabras, predecir el comportamiento de la variable en estudio”. (Pizarro et Al, 1986).

Para la estimación de la bondad de ajuste, existen variadas pruebas, las cuales poseen distinto grado de efectividad.

- La Prueba de Kolmogorov-Smirnov se utiliza para decidir si una muestra proviene de una población con una distribución específica. Se basa en la función de distribución empírica (ECDF). Se deben ordenar de menor a mayor valor.

$F(X)$ es la función de distribución que se pretende estudiar.

$F_s(X)$ es la probabilidad o proporción teórica de valores que deben ser iguales o menores que x suponiendo cierta la hipótesis planteada.

$S(X)$ es la función de distribución obtenida en la muestra. Para la aplicación del test señalado, es necesario determinar la frecuencia observada acumulada.

Para la frecuencia observada en el caso especial de Gumbel, se ordena la información de menor a mayor.

- La Prueba de Anderson-Darling se utiliza para comprobar si una muestra de datos procede de una población con una distribución específica. Se trata de una modificación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) y da más peso a las colas que la prueba KS. La prueba de KS es la distribución gratuita en el sentido de que los valores críticos no dependen de la distribución específica que se está probando. La prueba de Anderson-Darling hace uso de la distribución específica en el cálculo de los valores críticos. Esto tiene la ventaja de ser una prueba más sensible y la desventaja de que los valores críticos se deberán calcular para cada distribución.
- La Prueba de Chi-cuadrado se utiliza para comprobar si una muestra de datos procede de una población con una distribución específica. Una característica atractiva de la bondad de Chi-cuadrado es que se puede aplicar a cualquier

distribución univariante para los que se pueda calcular la función de distribución acumulada. El test Chi-cuadrado de bondad de ajuste se aplica a los datos desechados. Sin embargo, el valor de la estadística de Chi-cuadrado depende de cómo estén ordenados los datos. Otra desventaja de la prueba de Chi-cuadrado es que se requiere un tamaño de muestra suficiente para que la aproximación Chi-cuadrado para ser válida.

2.2.25. Método SCS para número de curva

Ven Te Chow (1994). Manifiesta que el Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca es menor o igual a alguna retención potencial máxima. Para muchas cuencas, el SCS encontró curvas como las que se muestran en la tabla 2 para estandarizar estas curvas se define un número adimensional de CN (número de curva).

Tabla 2. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el Método de Abstracciones de lluvia del SCS.

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Fuente: Soil Conservation Service, 1972.

En la tabla 2 se muestra el rango para las condiciones antecedentes de humedad para cada clase. Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en un tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelo con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Tabla 3. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.

Uso cobertura de la tierra	Tratamiento o práctica agrícola	Estado hidrológico	Grupo hidrológico de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	En surcos rectos	-	77	86	91	94
Cultivos en surcos	En surcos rectos	Malo	72	81	88	91
	En surcos rectos	Bueno	67	78	85	89
	En curvas de nivel	Malo	70	79	84	88
	En curvas de nivel	Bueno	65	75	82	86
	En terrazas	Malo	66	74	80	82
	En terrazas	Bueno	62	71	78	81
Cereales secundarios	En surcos rectos	Malo	65	76	84	88
	En surcos rectos	Bueno	63	75	83	87
	En curvas de nivel	Malo	63	74	82	85
	En curvas de nivel	Bueno	61	73	81	84
	En terrazas	Malo	61	72	79	82
	En terrazas	Bueno	59	70	78	81
Leguminosas sembradas densas o pradera en rotación	En surcos rectos	Malo	66	77	85	89
	En surcos rectos	Bueno	58	72	81	85
	En curvas de nivel	Malo	64	75	83	85
	En curvas de nivel	Bueno	55	69	78	83
	En terrazas	Malo	63	73	80	83
	En terrazas	Bueno	51	67	76	80
Praderas naturales o artificiales		Malo	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Bueno	39	61	74	80
	En curvas de nivel	Malo	47	67	81	88
	En curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	En curvas de nivel	Bueno	6	35	70	79
Pradera (permanente)		Bueno	30	58	71	78
Bosques (explotación de parcelas)		Malo	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Bueno	25	55	70	77
Granjas		-	59	74	82	86
Caminos		-	74	84	90	92

Fuente: Soil Conservation Service, 1972.

2.2.26. Caudales

Pizarro Et Al., (1993), define caudal o gasto, al volumen de agua que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo, donde la unidad de medida más comúnmente empleada es m^3/s .

Para el cálculo de caudales existen diferentes metodologías, dependiendo del tipo de información que se disponga, la cual puede ser de tipo fluvial o pluvial; si se cuenta con datos fluviométricos, los caudales son calculados en forma directa a través de análisis de frecuencia de los gastos medidos, en cambio si se cuenta con información pluviométrica, la estimación de crecidas es estimada por medio de modelos basados en las características morfométricas de la cuenca en estudio.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. MATERIALES

Las herramientas computacionales (software), materiales e información utilizadas en el desarrollo de la simulación hidráulica son los siguientes:

Software empleado para cálculos hidrológicos:

- ArcMap 10.1 con la extensión Hec-GeoHMS.
- Hec-HMS v.4.
- HidroEsta v.2.
- Easyfit.

Información para cálculos hidrológicos:

- Información del SENAMHI de Precipitaciones Máximas en 24 horas anual de las estaciones meteorológicas (Salalá y Huancabamba).
- Imágenes satelitales ASTER GDEM de la zona de investigación: S05W080 y S06W080.

Software empleado para cálculos hidráulicos:

- Hec-RAS v.5.0.

Otros:

- Computadora Hp15 Core i5.
- Softwares para la redacción y presentación de la investigación: Microsoft Word 2013, Microsoft Excel 2013 y Adobe Reader X.

3.1.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación se ubica en la sierra norte del Perú, a orillas del Río Huancabamba, en la provincia de Huancabamba, a una altitud de 1929 m.s.n.m., dentro del departamento de Piura, a 214 Km al sur este de la ciudad de Piura. Las coordenadas U.T.M. (Universal Trasverse Mercator) del área investigada son 670,200 E – 9°420,200 N y 672,300 E – 9°421,900 N. El tramo de investigación tiene una longitud total de 3.09 Km. Las coordenadas se están presentando en UTM y el Datum WGS 84 Zona 17 sur.



Figura 5. Ubicación de la Zona Investigada

Elaboración propia

3.1.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

3.1.2.1. Cuenca Hidrográfica

El área investigada corresponde a la cuenca alta del Río Huancabamba, que comprende varias microcuencas conformadas por quebradas que se activan fuertemente durante los periodos lluviosos que se producen en los meses de Diciembre a Abril, siendo la precipitación promedio de 1,155 mm/año; en el 1ro de abril de 1971 el caudal máximo diario registrado en la estación Huancabamba fue de 340 m³/s.

La cuenca del Río Huancabamba de la zona de investigación se encuentra en el Norte de la Costa del Perú, forma parte de la Vertiente Oriental de la Cordillera de los Andes; circunscrito en el ámbito de la región Piura, aproximadamente entre los paralelos 7°21' y 8°01' de Latitud Sur y los meridianos 78°16' y 79°27' de Longitud Oeste de Greenwich.

Geográficamente, la cuenca de Huancabamba de la vertiente del Atlántico, limita por el Norte con las cuencas del Río Canchis (tributario del Río Chinchipe) y Río Ramos-Palo Blanco (tributarios del Río Chira), por el Sur con las cuencas de los Ríos San Cristóbal y Río Olmos; por el Este con la cuenca del Río Chinchipe; por el Oeste con las cuencas de los Ríos Bigote y Pusmalca (tributario del Río Piura). La cuenca del Río Huancabamba hasta la ciudad del mismo nombre tiene una superficie de 384.9 Km².

3.1.2.2. Sub cuencas tributarias del área de investigación

3.1.2.2.1. Sub cuenca Quebrada Sauce Chico-Chula

Formada por las quebradas que bajan del Cerro Jalqueño y recibe por la margen izquierda las quebradas de Monte Negro, las quebradas de la Fragua (que nace en el Penurayo y en Cruz de Culaunache), la quebrada que baja de la laguna Baño del Buitre, y por la margen derecha recibe la unión de las quebradas La Lumbre y

Alcaparrosa (que nace en Sombreruyo) y la quebrada de Quilán (que nace en la Ciénega Larga.). Tiene un área aproximada de 87.66 Km².

3.1.2.2.2. Sub cuenca Quebrada Angostura

Formada por las quebradas Cash Cash y Laumache, alcanza la cota máxima en los 3,100 m.s.n.m., es tributaria del Río Huancabamba por su margen derecha, tiene un área aproximada de 84.77 Km².

3.1.2.2.3. Sub cuenca Quebrada Unguio-Longulo

Nace a los 3500 m.s.n.m., es formada por las quebradas Unguio y Cojunca, su intersección con el Río Huancabamba es al finalizar la zona urbana, y entregas sus aguas por su margen izquierda, tiene un área aproximada de 29.09 Km².

3.1.2.3. Río Huancabamba

El Río Huancabamba, es la principal Cuenca Hidrográfica de la provincia de Huancabamba, tiene su nacimiento en la laguna del Shimbe, pertenece a la Cuenca Amazónica, penetra al departamento de Cajamarca, confluye con el Río Chotano y toma el nombre de Río Chamaya que desemboca en el Río Marañón, en su curso fluvial interandino que se ha desarrollado entre las cordilleras Occidental y Sallique tiene un recorrido longitudinal de 115Km de dirección N-S.

El caudal masa en el Río varía de 269 MMC en la ciudad de Huancabamba hasta 650 MMC aguas abajo, cuyo caudal promedio es de 7.856 m³/s. El volumen de agua del Río Huancabamba derivable para el proyecto Olmos es de 403 millones de m³.

Su cauce se caracteriza por presentar contrastes fisiográficos constituidos por un valle principal, quebradas tributarias y cañones con pendientes moderadas; tiene como afluentes por la margen izquierda los arroyos que nacen en la laguna El Toro y los puquíos vecinos.

Las quebradas afluentes de la margen izquierda que corresponden a la zona de investigación son:

- Quebrada Chorro Sucio: Formado por los arroyos de Congoña y de Congoña-Corral.
- Quebrada Lungulo: Nace en las lagunas Mashuieca.
- Quebrada Chantaco: Formado por las quebradas que vienen del cerro Archuco, de Ramos Ungaña y la de Chorro Blanco que nace en el cerro Chantaco.

Las quebradas afluentes de la margen derecha que corresponden a la zona de investigación son:

- Quebrada Chula: Formada por la quebrada que baja del cerro Jalqueño.
- Quebrada Agua Salada: Nace en el cerro Huitiligún.
- Quebrada Quispampa: se forma en los ciénagos de Shucaco y de la Paquina

3.1.2.4. Geomorfología

Huancabamba, se ubica en la margen izquierda del río del mismo nombre en el flanco Este de la Cordillera de los Andes, se trata de zonas influenciadas por una intensa actividad glacial de edad pleistocénica que ha originado valles en forma de U y restos de antiguos depósitos glaciales, caracterizados por su heterogeneidad, observándose huellas de antiguos valles y cuencas de deposición. El desarrollo geomorfológico es el resultado de procesos tectónicos sobre impuestos por los procesos geodinámicos que han dado el modelado actual de la región. Entre los procesos tectónicos que han controlado el modelado tenemos el fallamiento; muy probablemente en bloques, así como una intensa erosión causada por las quebradas existentes y la litología que han dado la configuración actual del relieve.

En la zona existen valles en estado juvenil mayormente originado por las quebradas que constituyen sus torrentes; muchos de ellos permanecen secos gran parte del año. Los valles y quebradas son angostas con taludes poco verticales, los que han sido ayudados por la presencia de tobas que facilitan la erosión vertical en diversos

tramos; esto dependiendo de las formas litoestratigráficas que atraviesan las quebradas.

3.1.2.5. Hidrología

En el recorrido de norte a sur de la Cordillera de los Andes en la provincia de Huancabamba, se constituye la divisoria de los ríos más importantes del Norte del País. Por su vertiente occidental descenden las aguas que conforman las cuencas del Río Chira, Piura y Olmos, mientras que por la vertiente oriental lo hace el Río Huancabamba, que forma parte de la cuenca del Río Chamaya, y por el nor oriente el Río Canchis que es parte de la cuenca del Río Chinchipe, afluentes del Río Marañón.

Los primeros registros de precipitaciones y caudales en la cuenca Huancabamba se realizaron en julio de 1922 en la improvisada estación meteorológica Tambo. Sin embargo la creación de nuevas estaciones meteorológicas “constantemente” implementadas con equipos e instrumentos congruentes con el avance tecnológico permiten el registro de datos cuya contundencia y confiabilidad son ciertamente valorables.

Las precipitaciones con mayor frecuencia y de mayor intensidad se producen en los meses de diciembre a abril, disminuye en los otros meses originando un clima templado en la zona; pero debido al cambio climático y tomando en cuenta los últimos episodios lluviosos es válido considerar que las frecuencias e intensidades son variables.

3.1.2.6. Geología

La zona de investigación corresponde al valle del Río Huancabamba ubicado en un graben o cubeta, desarrollada por fallamiento gravitacional sobre formaciones Paleozoicas y Terciarias. Geológicamente, Huancabamba se sitúa en el noroeste peruano, controlado por la Cordillera Occidental de Los Andes y la Repisa Continental que forma el desierto de Sechura, los que en conjunto forman la Deflexión Geotectónica del borde occidental de trópico del Continente

Sudamericano, denominada Huancabamba. Tectónicamente, está formada por un sistema de fallamientos, plegamientos, intrusiones y vulcanismo, dispuestos en forma longitudinal y transversal, en arco de inflexión correspondiente a los distintos episodios tectónicos de la orogenia andina. Esto ha dado lugar a bloques tectónicos levantados y hundidos formando la repisa continental.

3.1.2.7. Relieve

El cauce del Río Huancabamba se caracteriza por presentar contrastes fisiográficos constituidos por un valle principal, quebradas tributarias como la quebrada Chula y quebrada Lungulo.

El grado de pendiente de los terrenos es el factor físico predominante, debido a que la erosión aumenta con la pendiente y en relación a esta aumenta la posibilidad de ocurrencia de remoción en masa, desprendimiento de rocas, deslizamientos y derrumbes.

El sistema de drenaje dominante es del tipo dendrítico, condicionado por la relativa abundancia de depósitos arcillosos, las que cubren depósitos de rocas sedimentarias tipo argilitas intercaladas con areniscas y gravas consolidadas.

3.1.2.8. Clima

El clima es variable según la altitud, siendo frígido en las partes altas (mayor de 2,400 m.s.n.m.), y en las partes correspondientes a las quebradas (menor de 1,800 m.s.n.m.), se caracteriza por ser del tipo frío y seco, con precipitaciones pluviales de mayor intensidad hasta 650 mm durante los meses de enero a marzo, disminuyendo en los meses de estiaje de abril a diciembre.

3.2. METODOLOGÍA

La metodología describe y explica detalladamente las actividades y los procesos realizados en esta investigación; el enfoque es la aplicación del modelo de simulación bidimensional para la evaluación del tramo investigado (movimiento de la partícula de agua en dos direcciones X y Y) a fin de determinar las zonas inundables con un criterio de eventos extremos para los periodos de retorno $TR=25$ años, $TR=50$ años y $TR=100$ años; así mismo determinar los caudales, hidrogramas de flujo, velocidades; y finalmente la obtención de vistas de las secciones transversales en las zonas inundables, perfiles longitudinales del cauce antes y después de la simulación.

3.2.1. Etapa de campo

En base al trabajo de campo se obtuvo la información necesaria para la aplicación del modelo de simulación Hec-RAS v.5.0, esta etapa se desarrolló a través de los siguientes procedimientos simplificados:

3.2.1.1. Reconocimiento visual del área investigada y capturas fotográficas

En el recorrido inicial se reconoció la zona de estudio, es decir la ubicación de las confluencias de las quebradas con el Río Huancabamba, los accesos a la zona y las características de las inmediaciones del cauce (zonas urbanas y zonas de cultivo).



Figura 6. Confluencia de la quebrada Chula con el Río Huancabamba

Fuente: Elaboración propia

3.2.1.2. Levantamiento topográfico del cauce

El levantamiento topográfico ha sido tomado del Expediente Técnico “AMPLIACIÓN DE LAS DEFENSAS RIBEREÑAS DE LA CIUDAD DE HUANCABAMBA, PROVINCIA DE HUANCABAMBA – PIURA”, elaborado por el Gobierno Regional Piura, en el cual se realizó un levantamiento topográfico del lecho, taludes y bordes, cuya longitud total es 3091 ml de los cuales 668 corresponden a la Quebrada Chula (evaluada como tributaria) y 2423 ml le corresponden al cauce principal del Río Huancabamba.

Esta información topográfica se realizó por medio de seccionamiento cuya separación aproximada es cada 20 m., con dicha información se generaron curvas de nivel con un suficiente detalle cada 0.20 m.

3.2.1.3. Análisis granulométrico del lecho y cauce

La granulometría permite determinar la rugosidad (valor Manning), el cual es un componente muy importante y que condiciona el grado de resistividad o no al flujo del agua. Si el valor de Manning es alto entonces la resistencia al flujo producirá una elevación del nivel del agua, y si el valor de Manning es bajo sucede todo lo contrario.

El análisis granulométrico del Río Huancabamba, permitió determinar los diámetros característicos y así poder representar la resistencia al flujo en función del material del lecho, que es uno de los parámetros necesarios para estimar la rugosidad de Manning empleando la metodología de W. L. Cowan -1956, teniendo como referencia las visitas de campo, en las cuales se observó el tipo de cobertura vegetal, la morfología del cauce, etc.

3.2.1.4. Recopilación de la hidrología para determinar los caudales máximos

De acuerdo a la ubicación de la zona de investigación, para el análisis hidrológico se seleccionó las estaciones meteorológicas que tienen mayor influencia, bajo ese criterio se consideraron como más influyentes a las estaciones de Salalá y Huancabamba.

Asumiendo la validez de los registros meteorológicos del SENAMHI, estos se utilizaron para la determinación de la hidrología de esta investigación. A continuación, se muestran los datos generales de las Estaciones Meteorológicas y los registros de precipitaciones (mm/24h).

Tabla 4. Datos Generales de las Estaciones Meteorológicas que intervienen en la zona de investigación

Estación	Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas Geográficas		Coordenadas UTM (WGS 84)			Altitud (msnm)
				Latitud	Longitud	Zona	ESTE	SUR	
Salala	Piura	Huancabamba	El Carmen de la Frontera	5° 6' 6"	79° 27' 27"	17M	660663.0	9419482.0	2,640
Huancabamba	Piura	Huancabamba	Huancabamba	5° 15' 1"	79° 33' 1"	17M	647478.4	9448985.1	1,950

Fuente: SENAMHI

Tabla 5. Estación Salalá

ESTACION:	SALALÁ														
LATITUD:	5°6'6"						DEPARTAMENTO:	PIURA							
LONGITUD:	79°27'27"						PROVINCIA:	HUANCABAMBA							
ALTURA:	2640 m.s.n.m.						DISTRITO:	CARMEN DE LA FRONTERA							
PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)															
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PMAX	PMEDIA	
1990	4.20	11.20	19.80	6.40	8.50	6.90	4.00	3.70	2.40	1.20	15.50	18.37	19.80	8.51	
1991	7.30	4.40	19.30	9.40	13.60	8.20	3.70	3.30	6.70	15.30	13.30	16.90	19.30	9.50	
1992	31.50	30.50	40.26	6.50	6.80	10.00	7.00	9.30	10.00	14.30	36.60	30.10	40.26	19.41	
1993	48.10	58.74	29.40	20.90	9.30	8.30	11.50	8.90	22.20	SD	SD	29.40	58.74	24.67	
1994	44.50	22.30	62.15	34.20	8.90	10.60	9.60	11.10	4.40	21.50	21.00	21.20	62.15	22.62	
1995	18.20	14.20	33.55	7.30	22.40	4.10	11.00	1.40	4.40	4.20	22.60	25.50	33.55	14.07	
1996	23.10	10.60	33.55	15.90	6.80	12.10	3.20	9.20	12.30	14.30	11.90	19.90	33.55	14.40	
1997	48.00	21.80	13.70	22.90	7.20	10.50	11.60	21.80	52.80	SD	SD	SD	52.80	23.37	
1998	25.40	32.00	44.88	19.90	13.50	17.40	14.00	3.80	6.40	28.50	15.10	14.40	44.88	19.61	
1999	24.40	31.30	44.55	33.90	22.40	18.50	14.90	8.70	15.50	7.20	5.60	40.50	44.55	22.29	
2000	19.00	37.29	29.70	16.00	20.30	16.90	6.50	8.60	18.90	12.20	6.50	21.80	37.29	17.81	
2001	37.62	27.40	22.70	27.50	10.30	28.10	23.30	13.00	7.90	21.80	30.20	30.10	37.62	23.33	
2002	22.00	27.10	18.50	25.60	41.03	4.30	21.60	4.00	3.80	37.00	12.70	28.70	41.03	20.53	
2003	15.20	13.90	22.30	37.84	19.60	12.50	9.90	4.20	6.40	19.40	31.50	21.20	37.84	17.83	
2004	20.60	5.70	28.70	44.55	15.60	15.70	13.60	6.50	SD	30.20	15.40	27.70	44.55	20.39	
2005	24.20	SD	29.40	32.45	8.30	10.10	6.20	2.30	6.40	18.50	17.30	29.50	32.45	16.79	
2006	20.50	30.50	SD	30.30	9.30	5.60	4.10	8.30	3.30	18.70	33.55	21.90	33.55	16.91	
2007	34.80	9.90	30.40	16.10	15.00	13.50	6.00	10.00	6.00	48.62	28.10	18.10	48.62	19.71	
2008	11.00	61.60	49.50	13.20	18.80	11.10	12.00	9.80	4.30	15.20	31.70	7.80	61.60	20.50	
2009	38.39	20.00	30.20	30.20	10.50	7.60	18.30	10.60	27.80	11.20	15.20	13.80	38.39	19.48	
2010	20.80	41.00	45.10	10.20	36.00	8.20	13.00	25.90	25.60	41.20	44.20	34.90	45.10	28.84	

Fuente: SENAMHI

Tabla 6. Estación Huancabamba

ESTACION:		HUANCABAMBA												
LATITUD:		5°15'1"						DEPARTAMENTO:		PIURA				
LONGITUD:		79°33'1"						PROVINCIA:		HUANCABAMBA				
ALTURA:		1950 m.s.n.m.						DISTRITO:		HUANCABAMBA				
PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)														
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PMAX	PMEDIA
1990	8.90	8.10	8.80	15.07	7.80	3.90	1.30	2.00	2.00	13.70	12.30	10.90	15.07	7.90
1991	10.70	12.60	13.86	SD	SD	SD	3.70	1.70	0.30	3.40	2.70	10.00	13.86	6.55
1992	12.80	10.00	8.00	7.70	5.00	3.40	19.58	3.00	7.40	10.70	17.80	11.60	19.58	9.75
1993	19.60	32.80	49.39	39.60	16.80	0.40	8.10	0.80	7.30	20.60	21.80	34.80	49.39	21.00
1994	36.20	38.20	51.81	34.50	18.60	6.80	2.70	22.20	13.50	4.50	32.80	9.60	51.81	22.62
1995	16.40	6.40	20.40	29.70	12.70	1.30	14.70	1.90	2.60	5.30	38.28	13.60	38.28	13.61
1996	18.90	20.40	38.28	10.20	4.80	2.80	3.30	3.70	3.20	15.80	6.10	7.20	38.28	11.22
1997	12.80	14.60	6.90	8.80	3.80	1.60	4.00	0.30	0.30	21.80	26.84	13.90	26.84	9.64
1998	23.10	12.40	30.91	17.10	12.20	6.20	3.20	0.20	0.20	16.00	12.70	8.10	30.91	11.86
1999	17.20	23.10	32.56	14.10	24.30	9.40	5.80	3.10	3.10	20.60	19.80	21.60	32.56	16.22
2000	14.10	22.00	29.92	18.00	25.40	11.60	1.00	4.80	4.80	1.40	1.20	9.50	29.92	11.98
2001	18.80	21.80	30.47	17.30	5.30	15.20	15.30	2.90	2.90	11.30	20.10	23.50	30.47	15.41
2002	8.90	38.17	28.30	31.70	17.50	0.70	7.30	6.40	4.90	27.30	8.80	11.20	38.17	15.93
2003	10.00	22.10	28.82	13.40	7.60	19.50	5.30	0.90	0.90	5.20	16.10	9.50	28.82	11.61
2004	36.08	2.70	15.00	29.00	18.20	4.10	4.30	0.20	0.20	22.80	22.80	17.70	36.08	14.42
2005	7.70	25.50	30.58	27.80	10.20	1.90	0.30	0.30	0.80	10.00	9.40	26.90	30.58	12.62
2006	8.00	23.80	19.20	26.30	12.30	5.20	1.30	0.40	0.40	38.17	26.50	25.70	38.17	15.61
2007	30.70	5.30	16.00	39.82	6.50	19.40	2.10	5.30	5.30	28.00	34.10	22.00	39.82	17.88
2008	15.20	31.40	40.26	15.70	13.60	2.60	6.80	5.60	5.60	22.80	13.90	2.50	40.26	14.66
2009	19.30	28.00	34.54	14.00	3.60	5.80	4.80	5.00	5.00	3.50	9.30	9.00	34.54	11.82
2010	45.10	34.80	41.00	21.40	16.00	9.60	1.80	1.50	1.20	2.00	4.80	10.20	45.10	15.78

Fuente: SENAMHI

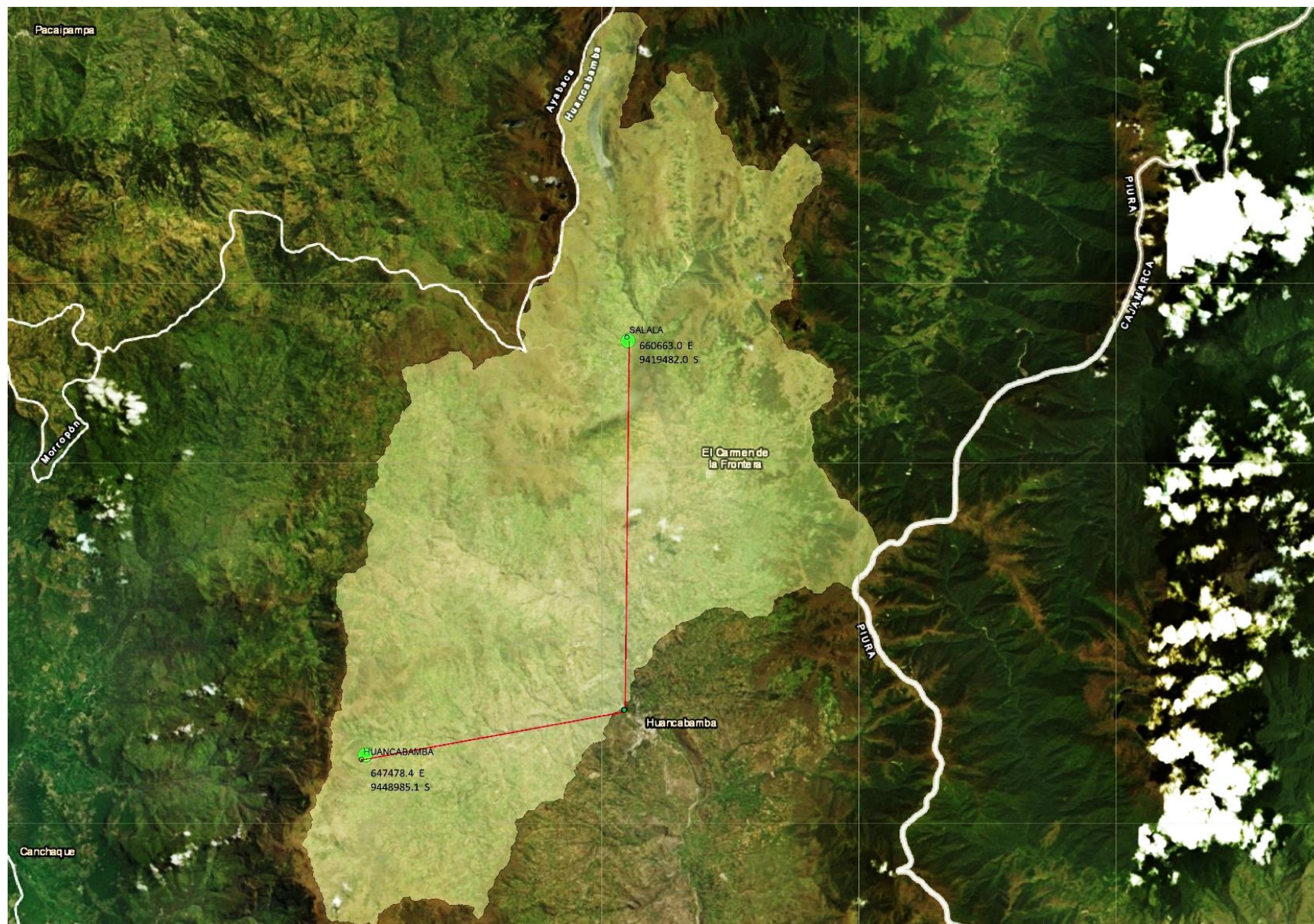


Figura 7. Mapa de ubicación de las Estaciones Meteorológicas Huancabamba y Salalá
Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Etapa de gabinete

3.2.2.1. Delimitación de la Cuenca Hidrográfica

El proceso de delimitación de la cuenca se realizó en ArcMap a partir de la utilización de imágenes satelitales disponibles en la plataforma Web Geo servidor del MINAM (Ministerio del Ambiente del Perú) y Earth Explored. Las imágenes satelitales ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model o Modelo Global de Elevación Digital) son RASTER que tienen una resolución de imagen de 30 m. De las imágenes satelitales que se muestran a continuación se extrajo un área menor en donde se encuentra el área de investigación.

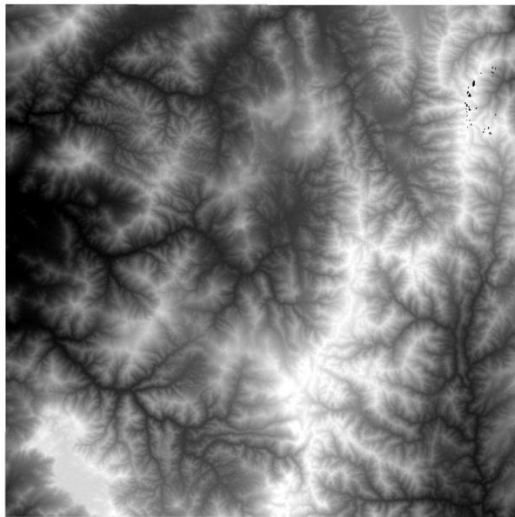


Figura 8. Imagen satelital S05W080
Fuente Earth Explored

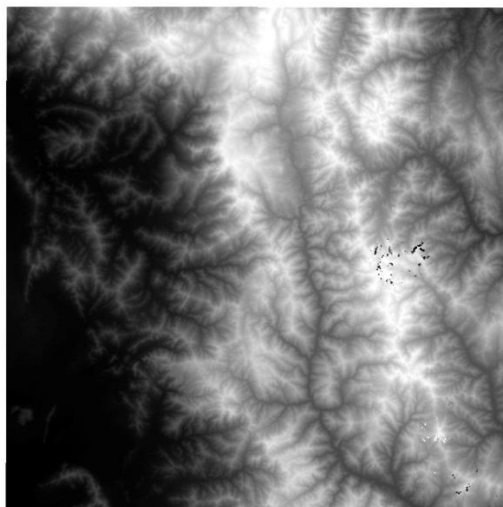


Figura 9. Imagen satelital S06W080
Fuente Earth Explored

Ambas imágenes satelitales están separadas, sin embargo, tienen un sistema de coordenadas pre definido cuya referencia espacial es WGS-1984 UTM Zona 17Ss.

Para unir las se utilizaron herramientas del ArcGIS obteniendo un sólo RASTER del mosaico generado a fin de extraer las líneas de contorno (curvas de nivel) con intervalos de separación de 25 a 50 metros.

Obtenidas las curvas de nivel se convirtieron en un formato TIN (Net irregular triangles o Red irregular de triángulos) de la zona investigada.

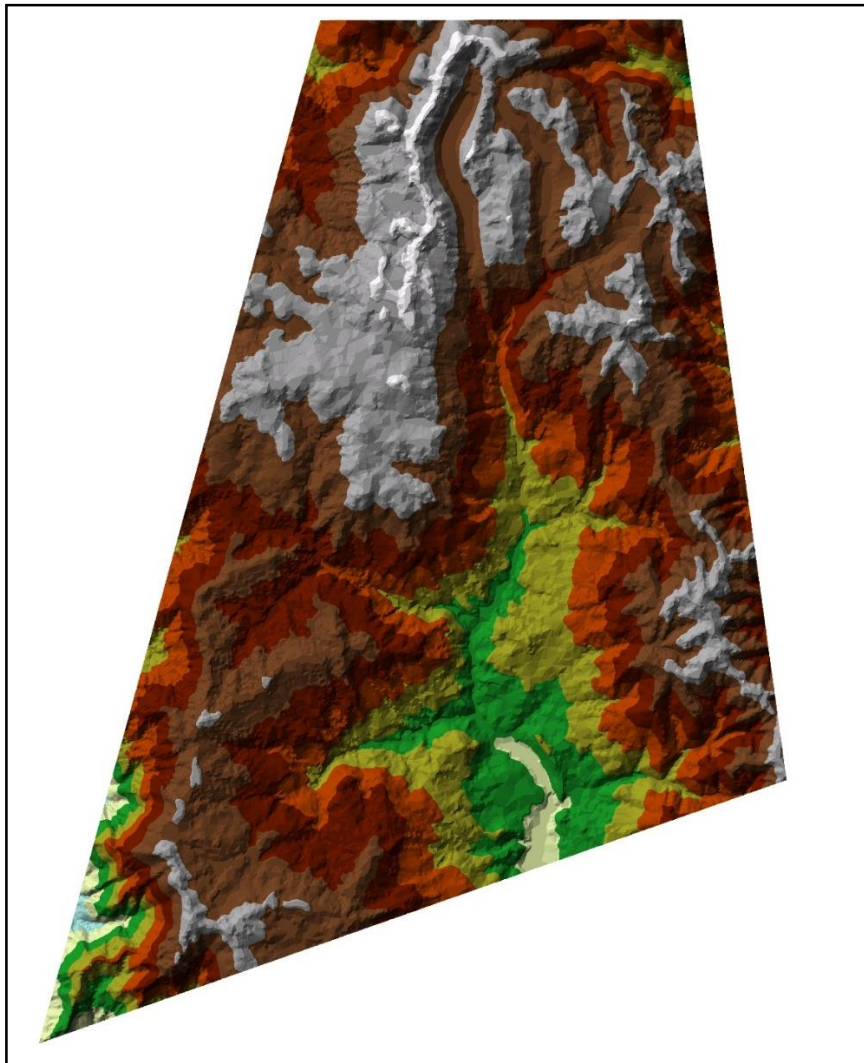


Figura 10. TIN de la zona investigada

Fuente: Elaboración propia

Del TIN convertido se obtuvo nuevamente un Raster DEM (Modelo de elevación digital) el cual fue procesado empleando los diferentes comandos de la extensión Hec-Geo HMS. A continuación se describe dicho procedimiento.

El empleo de los comandos de la extensión Hec-Geo HMS se inicia ingresando el modelo de elevación digital sin procesar (Raw DEM) mediante la gestión de datos del DEM (Data Management). Los comandos se inician a partir del siguiente reacondicionamiento:

- Fill sink (Llenado de los hundimientos o corrección topográfica).
- Flow Direction (Dirección del flujo).
- Flow Accumulation (Acumulación del flujo).
- Stream Definition (Definición del flujo).
- Stream Segmentation (Segmentación de acumulación del flujo).
- Catchment Grid Delineation (Delineación de cuencas en formato Raster).
- Catchment Polygon Processing (Procesamiento poligonal de cuenca en formato Shape).
- Drainage Line Processing (Procesamiento de red de drenaje en formato Raster).
- Adjoining Catchment Processing (Procesamiento de delimitación de la cuenca total).

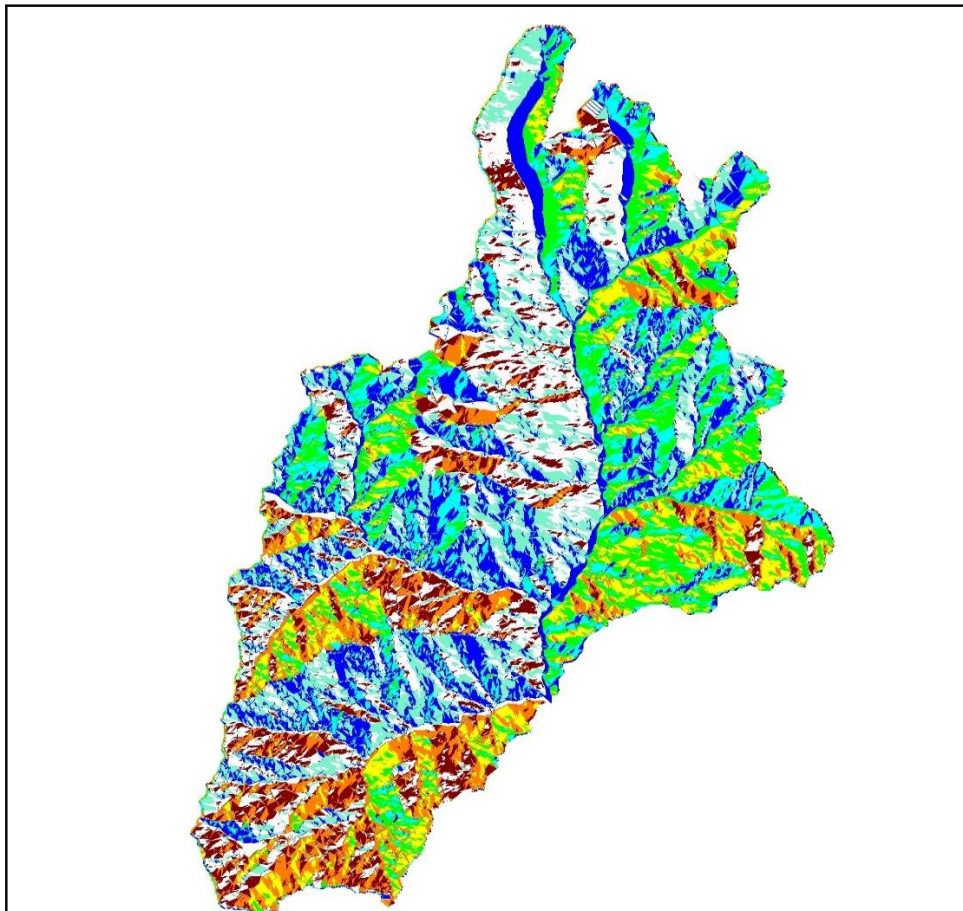


Figura 11. Flow Direction (Dirección del flujo) de la zona investigada

Fuente: Elaboración propia

La delimitación de la cuenca hidrográfica del área investigada se obtuvo mediante la opción de *Inicio de proyecto* en Hec-Geo HMS, además de la creación de un punto de salida en formato Shape con una ubicación geográfica definida (671067.28 m E y 9421236.02 m N). Dicho punto se proyectó de acuerdo a la dirección del flujo de salida de la cuenca.

La delimitación de las subcuencas del área investigada, está contenida por las redes hídricas de la parte alta del Río Huancabamba que encuentran su confluencia en el punto proyectado donde se forma el cauce común que atraviesa la ciudad de Huancabamba; se representa a continuación:



Figura 12. Subcuencas hidrográficas del Río Huancabamba de la zona investigada

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros geomorfológicos generados del área investigada son:

- Área de la cuenca.- Factor de forma.
- Perímetro de la cuenca.- Índice de Gravelius.
- Pendiente de la cuenca.- Factor de elongación.
- Pendiente del cauce principal.- Cota máxima.
- Longitud del cauce Principal.- Cota mínima.

En la siguiente tabla se detallan los valores de los parámetros geomorfológicos de las subcuencas del área investigada que posteriormente se exportaron al software Hec-HMS.

Tabla 7. Parámetros geomorfológicos de las subcuencas del área investigada

ITEM	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS	SUBCUENCA		
		QDA. CHULA	QDA. ANGOSTURA	RÍO HUANCABAMBA
1	ÁREA (Km ²)	87.660	84.770	212.49
2	PERÍMETRO (KM.)	56.40	65.73	123.81
3	PENDIENTE (%)	42.95	26.96	14.52
4	LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL (Km.)	17.32	18.32	30.76
5	COTA MÁXIMA (m.)	3,477.00	3,650.00	3,850.00
6	COTA MÍNIMA (m.)	1,950.00	2,050.00	1,950.00
7	PENDIENTE CAUCE PRINCIPAL (m/m)	0.088	0.087	0.062
8	FACTOR DE FORMA (F)	0.292	0.253	0.225
9	ÍNDICE DE COMPACTIDAD DE GRAVELIUS (K)	1.699	2.013	2.395
10	FACTOR DE ELONGACIÓN: R	0.610	0.567	0.535

Fuente: Elaboración propia

El área de la subcuenca Huancabamba dobla las áreas de las quebradas Chula y Angostura, es decir, tiene una mayor área de concentración de precipitaciones.

3.2.2.2. Determinación de caudales máximos

Según la información de las precipitaciones máximas de 24 horas de las estaciones Salalá y Huancabamba (Tablas 5 y 6), se determinaron los caudales de diseño mediante la elaboración de análisis de las distribuciones estadísticas para diferentes periodos de retorno (25 años, 50 años y 100 años), prueba de bondad de ajuste, tiempos de concentración, hietogramas de diseño, determinación del número de la curva según SCS y el modelo hidrológico en Hec-HMS.

3.2.2.2.1 Análisis de distribuciones estadísticas y Prueba de bondad de ajuste para las estaciones Salalá y Huancabamba respectivamente

- a) Para el análisis de las distribuciones estadísticas se aplicó el software HidroEsta v.2; de las cuales se consideran más confiables para esta investigación las distribuciones siguientes: Distribución Normal, Distribución LogNormal 3 parámetros, Distribución LogPearson Tipo III y la Distribución Gumbel.

Tabla 8. Distribuciones estadísticas para la estación Salalá

Periodo de retono en años	Normal	Log Normal 3P	Log Pearson Tipo III	Gumbel
10	56.02	56.11	56.38	58.35
25	61.44	61.66	60.38	68.18
50	64.92	65.28	62.53	75.25
100	68.05	68.54	64.17	82.26

Fuente: Elaboración propia-HidroEsta v.2

Tabla 9. Distribuciones estadísticas para la estación Huancabamba

Periodo de retono en años	Normal	Log Normal 3P	Log Pearson Tipo III	Gumbel
10	46.32	46.38	46.02	48.55
25	50.93	51.11	48.27	56.69
50	53.9	54.2	49.24	62.73
100	56.58	56.99	49.85	68.72

Fuente: Elaboración propia-HidroEsta v.2

Para ambas estaciones meteorológicas, la distribución estadística de Gumbel arrojó valores más altos; sin embargo, no alcanzaron el mejor ajuste en las pruebas de bondad.

- b) Para la Prueba de bondad de ajuste de las distribuciones estadísticas, se utilizó el software EasyFit v.4; mediante el cual se determinó el mejor ajuste para cada serie ingresada por estación; las pruebas de bondad son Kolmogorov – Smirnov, Anderson Darling, Chi-Cuadrado.

Tabla 10. Prueba de bondad de ajuste – Resumen para la estación Salalá

#	DISTRIBUCIÓN	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
4	LogNormal 3P	0.12324	1	0.39975	1	0.08316	1
1	Gumbel Max	0.12912	2	0.81369	3	1.5255	4
3	Normal	0.13285	3	0.40632	2	0.47214	2
2	Log Pearson 3	0.14356	4	0.46474	4	0.48023	3

Fuente: Elaboración propia-EasyFit v.4

Tabla 11. Prueba de bondad de ajuste – Resumen para la estación Huancabamba

#	DISTRIBUCIÓN	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Cuadrado	
		Estadística	Rango	Estadística	Rango	Estadística	Rango
4	LogNormal 3P	0.12324	1	0.39975	2	0.08316	3
3	Normal	0.12912	2	0.81369	1	1.5255	2
2	Log Pearson 3	0.13285	3	0.40632	3	0.47214	1
1	Gumbel Max	0.14356	4	0.46474	4	0.48023	4

Fuente: Elaboración propia-EasyFit v.4

La distribución estadística LogNormal 3P es la que mejor se ajustó a las 3 pruebas de bondad para ambas estaciones, por ello se utilizó en el cálculo de modelo hidrológico. Estas se ajustan con un nivel de significación de 5 % o una probabilidad de 95% según HidroEsta.

3.2.2.2.2. Tiempos de Concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración de la cuenca Huancabamba hasta el área investigada se ha empleado la fórmula de KIRPICH y CALIFORNIA:

Tabla 12. Tiempos de Concentración de las subcuencas

SUBCUENCA	LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL (m)	COTA MÁXIMA (m)	COTA MÍNIMA (m)	DESNIVEL (m)	PENDIENTE CAUCE PRINCIPAL (m/m)	TIEMPO DE CONCENTRACION (min)		PROMEDIO
						M. KIRPICH	M. CALIFORNIA	
HUANCABAMBA	30,760.00	3,850.00	1,950.00	1,900.00	0.062	162.19	162.68	162.435
ANGOSTURA	18,320.00	3,650.00	2,050.00	1,600.00	0.087	95.16	95.53	95.345
CHULA	17,320.00	3,477.00	1,950.00	1,527.00	0.088	91.08	91.15	91.115

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.2.3. Determinación del Número de la Curva según SCS

El número de curva se determinó teniendo en cuenta la visita de campo realizada al área investigada, además de la evaluación de imágenes satelitales de la cuenca investigada, considerando los siguientes valores:

- Grupo Hidrológico del suelo: C
- Cobertura: Pradera naturales
- Estado: Regular
- N° de curva (CN): 78

3.2.2.2.4. Hietogramas de diseño

Para determinar la intensidad de lluvia se utilizó la metodología de la SCS del Servicio de Conservación de Suelos de EEUU. Según este método existen 4 patrones de distribución de precipitación: Tipo I, Tipo IA, Tipo II y Tipo III. En la zona investigada el clima se caracteriza por ser de tipo frío y seco con precipitaciones intermitentes según la temporada, ya sea lluviosa o de estiaje. Por la proximidad a la Línea Ecuatorial se considera prácticamente una zona sub-tropical. Irrefutablemente no se producen

huracanes u otros fenómenos meteorológicos, debido a que no se presentan altas concentraciones de masas húmedas ni vientos fuertes.

Esta investigación se basó en este argumento para considerar idónea a la distribución de precipitación Tipo IA para la conversión de la precipitación máxima 24h a valores horarios.

Tabla 13. Patrón de distribución de precipitación Tipo IA - SCS

Hora	Fracción de Precipitación en 24 horas			
	PATRONES DE DISTRIBUCION DE LLUVIA SCS			
	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III
0.0				
1.0	0.020	0.024	0.014	0.013
2.00	0.020	0.024	0.014	0.013
3.00	0.022	0.035	0.014	0.013
4.00	0.022	0.035	0.014	0.013
5.00	0.025	0.043	0.015	0.017
6.00	0.025	0.043	0.015	0.017
7.00	0.030	0.063	0.015	0.017
8.00	0.035	0.159	0.024	0.026
9.00	0.052	0.100	0.026	0.032
10.00	0.260	0.058	0.029	0.035
11.00	0.114	0.045	0.051	0.060
12.00	0.052	0.039	0.430	0.250
13.00	0.045	0.038	0.120	0.250
14.00	0.040	0.038	0.049	0.060
15.00	0.027	0.036	0.025	0.032
16.00	0.027	0.036	0.025	0.032
17.00	0.024	0.024	0.016	0.017
18.00	0.024	0.024	0.016	0.017
19.00	0.024	0.024	0.016	0.017
20.00	0.024	0.024	0.016	0.017
21.00	0.022	0.022	0.014	0.013
22.00	0.022	0.022	0.014	0.013
23.00	0.022	0.022	0.014	0.013
24.00	0.022	0.022	0.014	0.013

Fuente: Servicio de Conservación de Suelos de EEUU. SCS

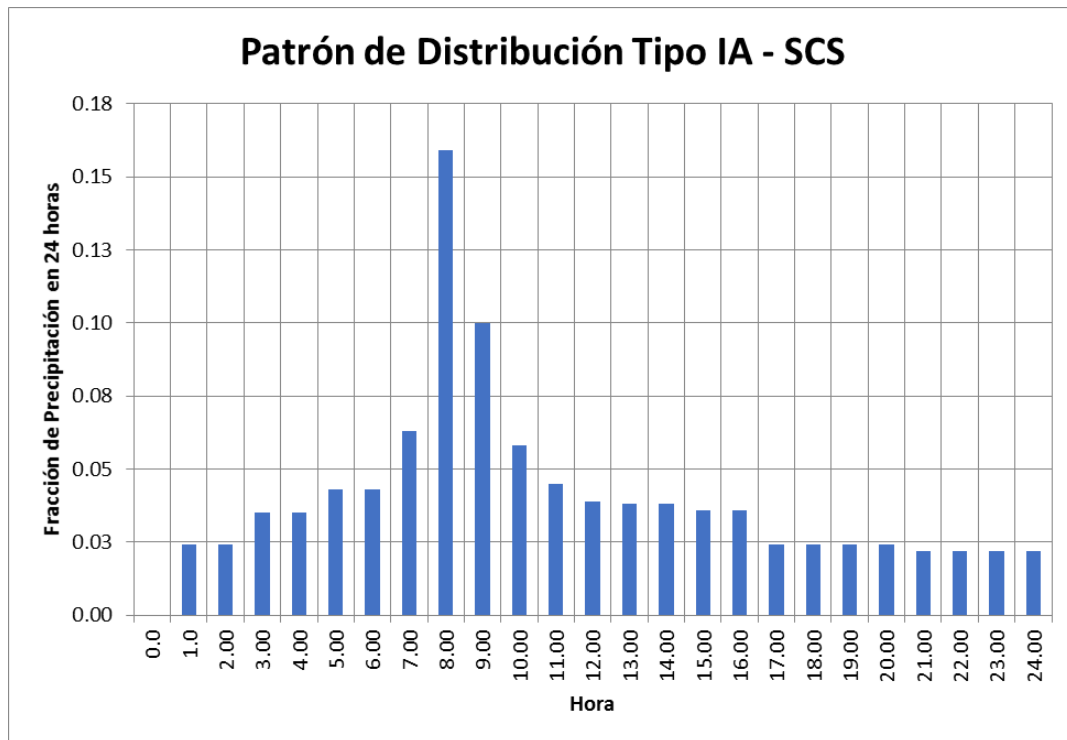


Figura 13. Distribución tipo IA- SCS

Fuente: Servicio de Conservación de Suelos de EEUU. SCS

3.2.2.2.5. Modelo Hidrológico con Hec-HMS

Habiéndose determinado el análisis estadístico de distribuciones, la prueba de bondad de ajuste, tiempo de concentración, número de curva y los Hietogramas, se creó un modelo hidrológico con el software Hec-HMS para representar la parte física de las Subcuencas del Río Huancabamba, Quebrada Angostura y Quebrada Chula.

Agregando y conectando datos y elementos hidrológicos se emplearon modelos matemáticos para obtener los caudales de diseño de las Subcuencas (Qda. Chula y Río Huancabamba) ante las precipitaciones máximas en 24 hr. Resultando un pico de descarga $Q = 370.600 \text{ m}^3/\text{s}$ para el periodo de retorno $Tr = 100$ años, el cual fue adoptado con la necesaria consideración de la relación existente entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de una estructura y el riesgo de falla admisible, dependiendo este último, de factores económicos, sociales, técnicos y otros; tal cual lo indican los valores de periodo de retorno según el “Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (fuente: MONSALVE 1999)”.

Del modelo hidrológico se obtuvieron hidrogramas que representan la variación de los caudales de las redes tributarias al punto proyectado respecto al tiempo, que fueron exportados al Hec-RAS v.5.0 para la simulación hidráulica bidimensional. La representación de la parte física de las Subcuencas y los hidrogramas se adjuntan en los anexos.

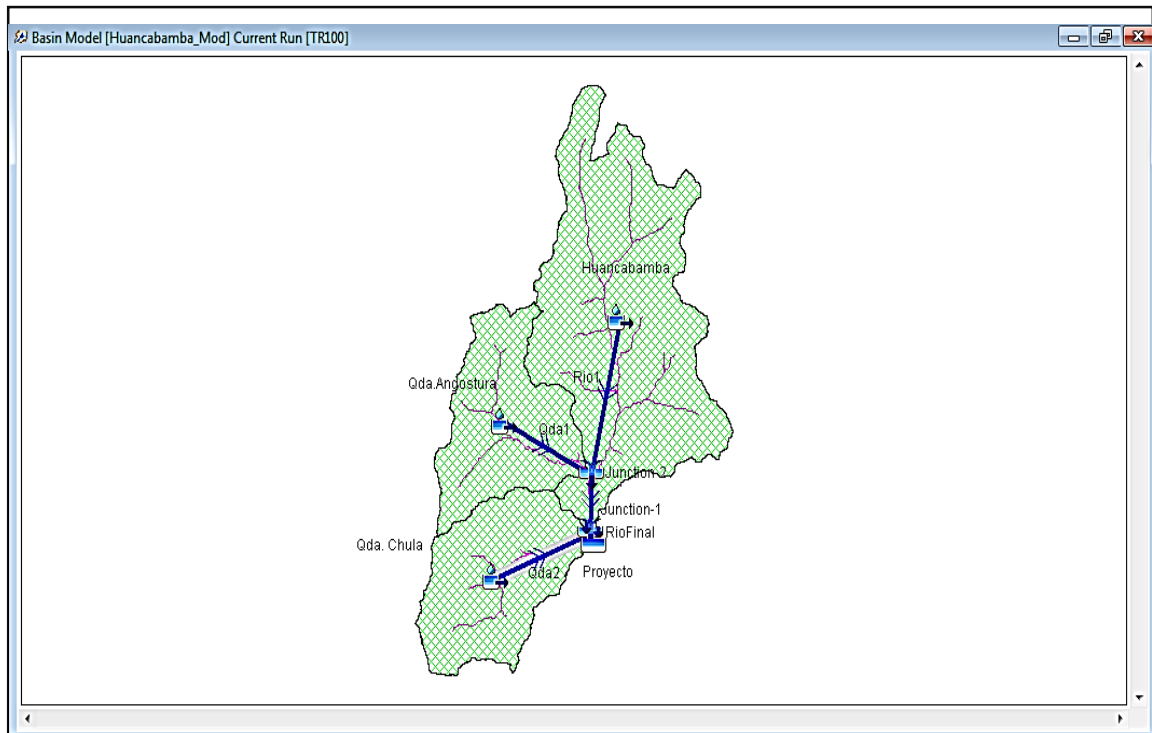


Figura 14. Modelo hidrológico con Hec-HMS

Fuente: Elaboración propia

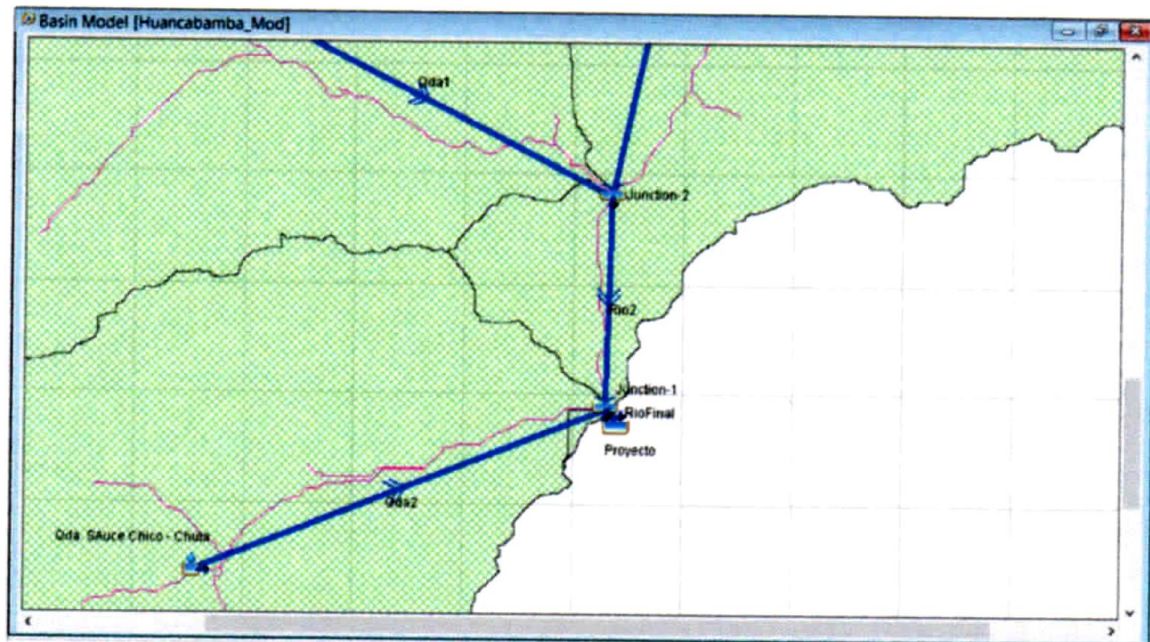


Figura 15. Redes tributarias al punto proyectado en Hec-HMS

Fuente: Elaboración propia

3.2.2.3. Simulación hidráulica bidimensional con Hec-RAS v.5.0

Para correr el modelo hidráulico fue necesario la información siguiente:

- Topografía del cauce.
- Valores de rugosidad de Manning.
- Hidrogramas de diseño para $T_r = 100$ años.

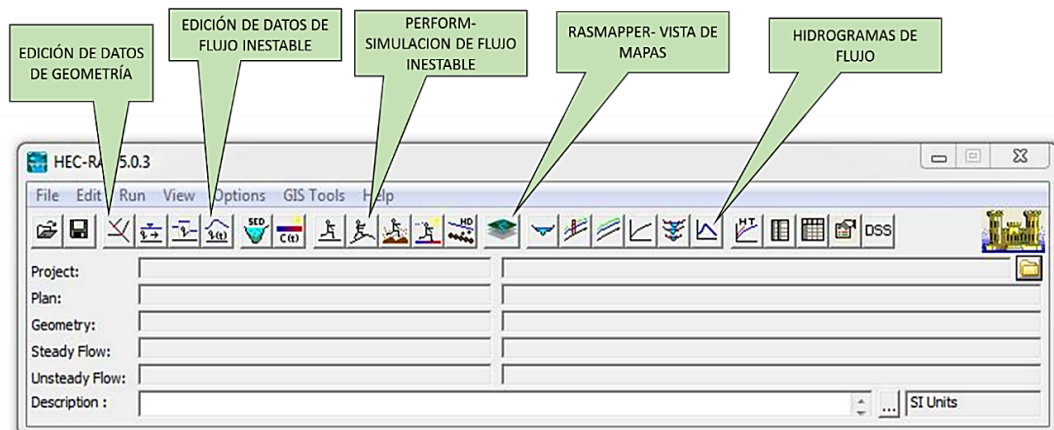


Figura 16. Software Hec-RAS v.5.0

Fuente: ESRI software

Como muestra la figura 16, Hec-RAS v.5.0 requiere una serie de configuraciones para la creación del proyecto de simulación y se siguió el siguiente procedimiento:

- Creación y edición de una geometría importada desde ArcGIS que fue extraída a partir de las curvas de nivel y convertidas a un formato TIN.

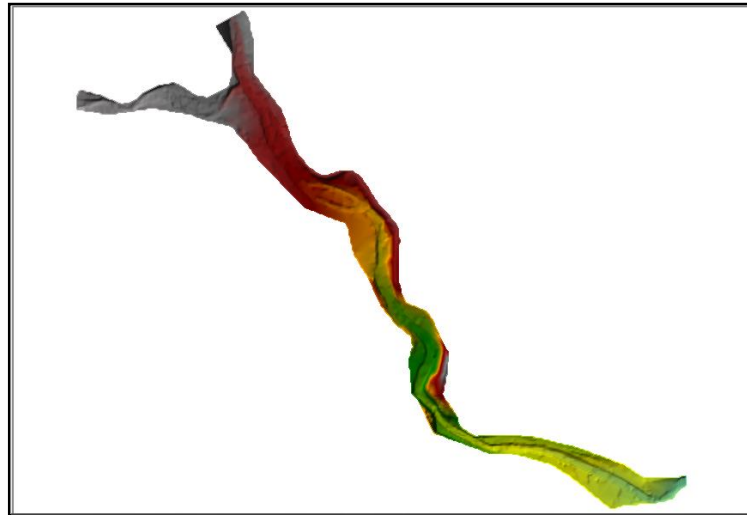


Figura 17. TIN del cauce de la zona investigada

Fuente: Elaboración propia

- Dibujar sobre el TIN todos los contornos con la herramienta “2D Flow Area” para crear una malla de 5 x 5 cm.

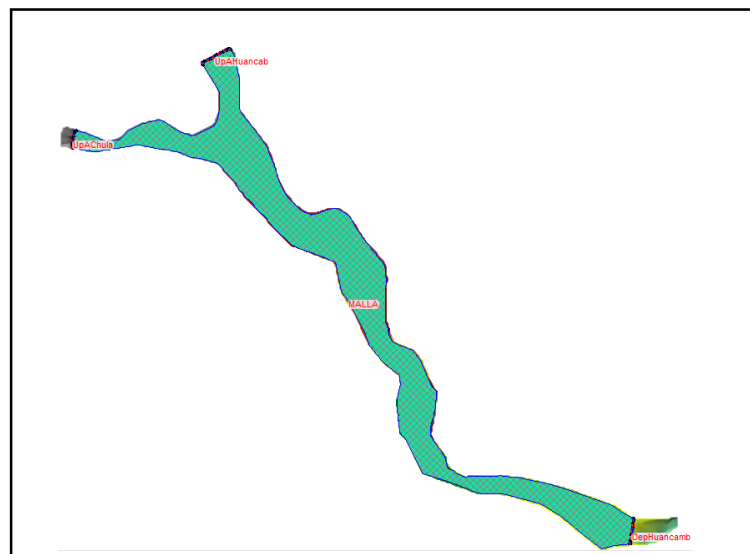


Figura 18. Malla generada con celdas de 5 x 5 cm

Fuente: Elaboración propia

- A continuación, se estimó el valor de la rugosidad de Manning para la Quebrada Chula y el Río Huancabamba, a partir de la visita a la zona investigada y la comparación entre la información del análisis granulométrico de la bibliográfica citada “Valores de los parámetros de rugosidad según Cowan” y “Estudio Geológico y Geotécnico para la Ampliación de Defensas Ribereñas de la Ciudad de Huancabamba elaborado por el Gobierno Regional – Piura”.

➤ Tramo1: Quebrada Chula

- Margen izquierda áreas de cultivo
- Margen Derecha, muestra zona de cerro

➤ Tramo2: Río Huancabamba

- Margen izquierda área de pasturas
- Margen Derecha, área de camino y casas

Tabla 14. Valores de Rugosidad de Manning de la zona investigada

ITEM	Red Hídrica	Alcance	Manning (M. Izquierda)	Manning (Cauce)	Manning (M. Derecha)
1	Quebrada Chula	Tributario	0.032	0.031	0.034
2	Río Huancabamba	Aguas abajo	0.029	0.033	0.033

Fuente: Elaboración propia.

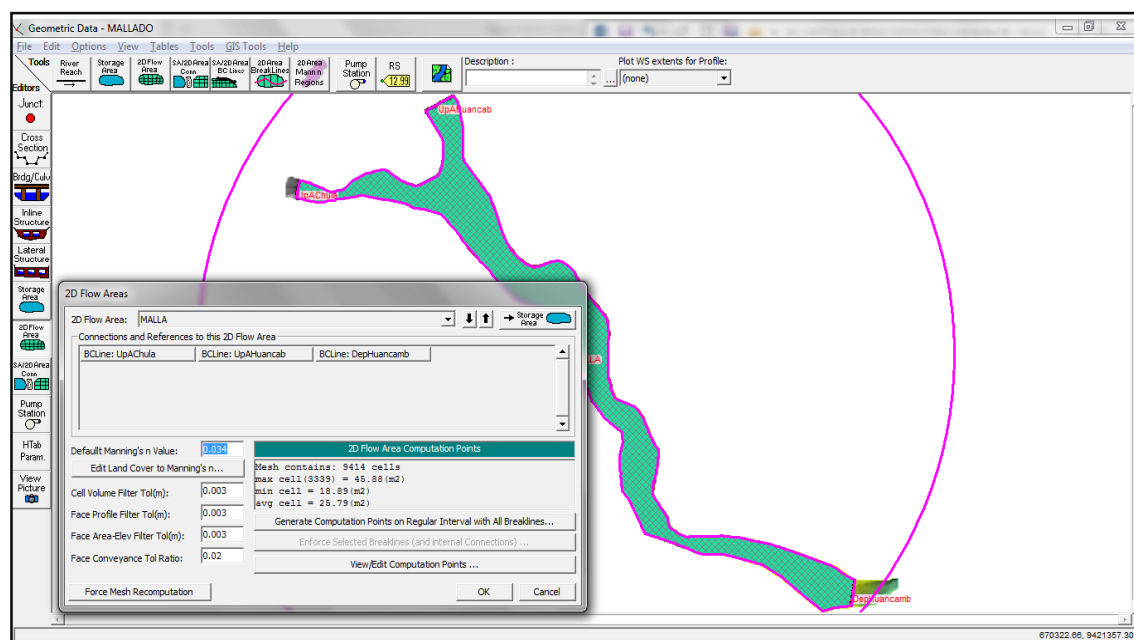


Figura 19. Ventana de edición del valor de rugosidad de Manning

Fuente: Elaboración propia

- En la edición de datos de flujo inestable se ingresaron los hidrogramas (aguas arriba) de la quebrada Chula y del cauce del Río Huancabamba con la herramienta “SA/2D Área BC Lines” y la pendiente de la línea de energía (aguas abajo) para flujo no uniforme.

No.	Ordinates	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1		28feb2018 2400	00:00	56.800
2		01mar2018 0005	00:05	56.800
3		01mar2018 0010	00:10	56.800
4		01mar2018 0015	00:15	56.800
5		01mar2018 0020	00:20	56.800
6		01mar2018 0025	00:25	56.800
7		01mar2018 0030	00:30	56.800
8		01mar2018 0035	00:35	56.800
9		01mar2018 0040	00:40	56.800
10		01mar2018 0045	00:45	56.800
11		01mar2018 0050	00:50	56.800
12		01mar2018 0055	00:55	56.800
13		01mar2018 0100	01:00	56.900
14		01mar2018 0105	01:05	56.900
15		01mar2018 0110	01:10	57.000
16		01mar2018 0115	01:15	57.100
17		01mar2018 0120	01:20	57.200
18		01mar2018 0125	01:25	57.400
19		01mar2018 0130	01:30	57.600

Figura 20. Ventana de ingreso de los hidrogramas Río Huancabamba
Fuente: Elaboración propia

No.	Ordinates	Date	Simulation Time (hours)	Flow (m3/s)
1		28feb2018 2400	00:00	16.700
2		01mar2018 0005	00:05	16.700
3		01mar2018 0010	00:10	16.700
4		01mar2018 0015	00:15	16.700
5		01mar2018 0020	00:20	16.700
6		01mar2018 0025	00:25	16.700
7		01mar2018 0030	00:30	16.700
8		01mar2018 0035	00:35	16.800
9		01mar2018 0040	00:40	16.800
10		01mar2018 0045	00:45	16.800
11		01mar2018 0050	00:50	16.900
12		01mar2018 0055	00:55	17.000
13		01mar2018 0100	01:00	17.100
14		01mar2018 0105	01:05	17.200
15		01mar2018 0110	01:10	17.400
16		01mar2018 0115	01:15	17.500
17		01mar2018 0120	01:20	17.700
18		01mar2018 0125	01:25	17.800
19		01mar2018 0130	01:30	18.000

Figura 21. Ventana de ingreso de los hidrogramas Qda. Chula
Fuente: Elaboración propia

- A continuación, se visualizó el RAS Mapper y se proyectó el Sistema Espacial de Referencia WGS-84 UTM zone 17S.

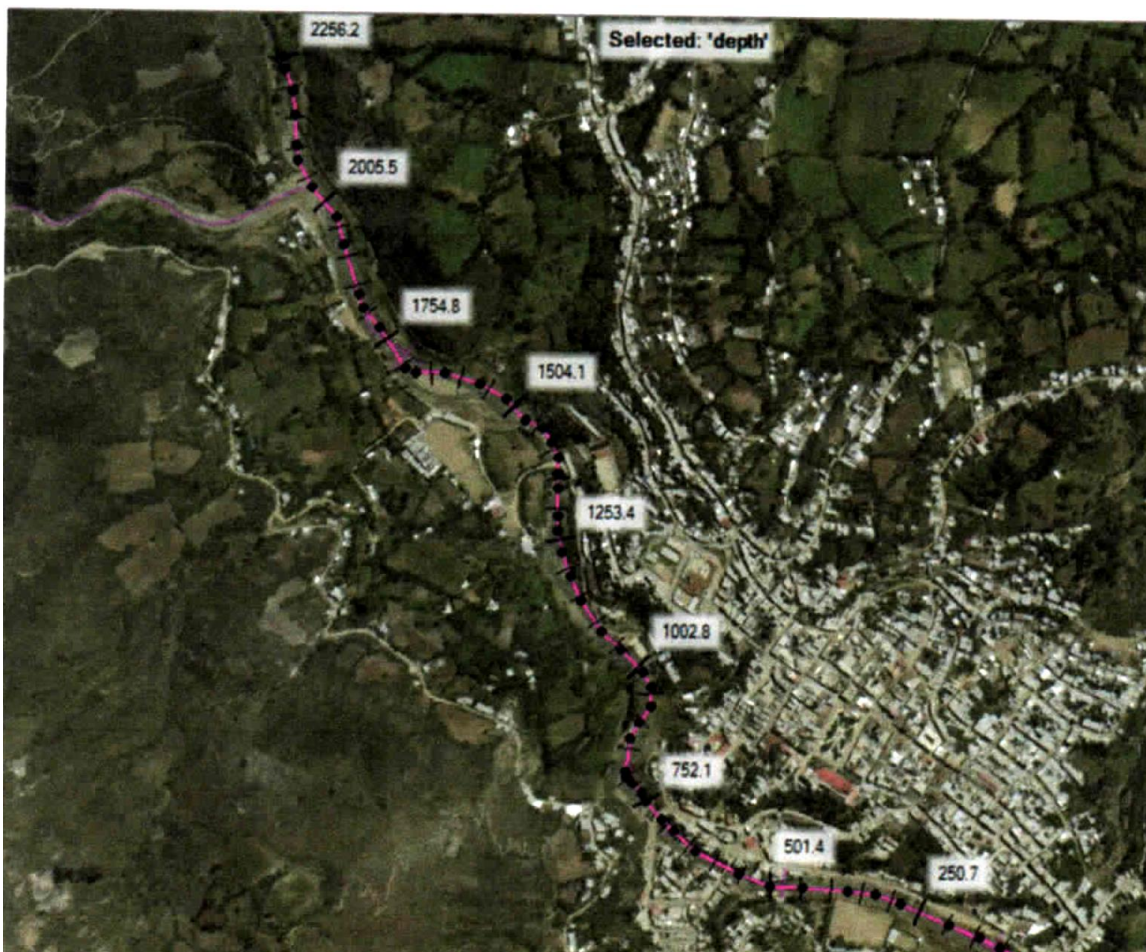


Figura 22. Visualización RAS Mapper de la zona investigada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se muestra el eje y las progresivas del Río Huancabamba en la interfaz gráfica de RAS Mapper de Hec-RAS, se ha considerado una longitud para la simulación hidráulica de 2+256 km y para la Quebrada Chula una longitud de 0+540 km.

- Finalmente se realizó la computación (*Perform an unsteady flow simulation*) de la simulación en 2d del modelo, definiendo los intervalos de los hidrogramas (cada 5 minutos), configurando los datos de inicio y final del evento, así como también la ejecución de la geometría programada para flujo no uniforme; los resultados se detallan en el capítulo IV.

Figura 23. Ventana de configuración computacional de la simulación
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La delimitación de la subcuenca Huancabamba mediante ArcMap permitió determinar los parámetros y características geomorfológicas, los cuales atienden a un análisis de la subcuenca como un sistema colector.

4.1. PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Tabla 15. Resumen de Parámetros Geomorfológicos

ITEM	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS	SUBCUENCA		
		QDA. CHULA	QDA. ANGOSTURA	RÍO HUANCABAMBA
1	ÁREA (Km ²)	87.660	84.770	212.49
2	PERÍMETRO (KM.)	56.40	65.73	123.81
3	PENDIENTE (%)	42.95	26.96	14.52
4	LONGITUD DE CAUCE PRINCIPAL (Km.)	17.32	18.32	30.76
5	COTA MÁXIMA (m.)	3,477.00	3,650.00	3,850.00
6	COTA MÍNIMA (m.)	1,950.00	2,050.00	1,950.00
7	PENDIENTE CAUCE PRINCIPAL (m/m)	0.088	0.087	0.062
8	FACTOR DE FORMA (F)	0.292	0.253	0.225
9	ÍNDICE DE COMPACIDAD DE GRAVELIUS (K)	1.699	2.013	2.395
10	FACTOR DE ELONGACIÓN: R	0.610	0.567	0.535

4 Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la tabla de las características geomorfológicas de la subcuenca, se obtuvieron resultados para analizar la longitud del cauce, pendientes y la forma de la subcuenca; es decir una serie de cálculos que permitieron conocer el comportamiento hidrológico de la subcuenca. Así mismo, mediante observación de imágenes satelitales y la visita a la zona de investigación se analizó cualitativamente las características de la subcuenca, determinándose que es una subcuenca de tipo alargada cuasi redondeada.

El área de mayor expansión es la subcuenca del Río Huancabamba, así mismo se mantiene esa condición para el valor del perímetro, longitud del cauce e índice de Gravelius. Mientras que en las subcuencas Qda. Angostura y Qda. Chula los valores cuantitativos son similares.

La simulación con picos de crecida determinó que, de acuerdo a geomorfología de la subcuenca en un determinado tiempo, se generan puntos importantes de corriente (en las confluencias), en donde ocurren invasiones del flujo en zonas urbanas y zonas de cultivo.

Las precipitaciones que caen dentro del área definida por la subcuenca, recorren una red hídrica hasta llegar al cauce principal del Río Huancabamba (punto proyectado de salida de la subcuenca).

Desde el punto proyectado de salida de la subcuenca, se modifica el régimen de corriente (flujo inestable). Las partes altas (aguas arriba) están ocupadas por áreas agrícolas de poca cobertura forestal, las cuales inciden en las partes bajas (aguas abajo) donde existe un estrechamiento del cauce producido por el asentamiento urbano.

4.2. CAUDALES GENERADOS

La simulación bidimensional se desarrolló en escenarios de desborde con periodos de retorno de $Tr = 100$ años, $Tr = 50$ años y $Tr = 25$ años; a fin de determinar los caudales, hidrogramas de flujo, velocidades y los niveles de agua alcanzados.

Así también se presentan en los anexos secciones transversales en las zonas inundables, perfiles longitudinales del cauce antes y después de la simulación para un periodo de retorno $Tr = 100$ años.

Tabla 16. Resumen global de caudales de las subcuencas ($Tr = 100$ años)

TR (Años)	Hydrologic Element	Time of Peak	Drainage Area (Km ²)	Peak Discharge (m ³ /s)	Volume (1000 m ³)
100	Río Huancabamba	01Mar2018, 11:00	297.272	296.800	46.690
	Qda. Chula	01Mar2018, 09:35	87.666	90.800	42.720
	Pto. Proyecto	01Mar2018, 10:55	384.937	370.600	17543.600

Fuente: Elaboración propia

Para un $Tr = 100$ años, se observa que el caudal Pico para el punto de estudio es igual a $370.600 \text{ m}^3/\text{s}$, cabe indicar que los picos de ambos no se suman ya que su tiempo de concentración es diferente y los picos de cada subcuenca tributaria llegan en tiempos diferentes.

Tabla 17. Resumen global de caudales de las subcuencas ($Tr = 50$ años)

TR (Años)	Hydrologic Element	Time of Peak	Drainage Area (Km ²)	Peak Discharge (m ³ /s)	Volume (1000 m ³)
50	Río Huancabamba	01Mar2018, 11:00	297.272	272.600	44.600
	Qda. Chula	01Mar2018, 09:35	87.666	83.000	40.810
	Pto. Proyecto	01Mar2018, 10:55	384.937	348.800	43.540

Fuente: Elaboración propia

Para un $Tr = 50$ años, se observa que el caudal Pico para el punto de estudio es igual a $348.800 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 18. Resumen global de caudales de las microcuencas ($Tr = 25$ años)

TR (Años)	Hydrologic Element	Time of Peak	Drainage Area (Km ²)	Peak Discharge (m ³ /s)	Volume (1000 m ³)
25	Río Huancabamba	01Mar2018, 11:05	297.272	254.000	42.290
	Qda. Chula	01Mar2018, 09:35	87.666	77.100	38.770
	Pto. Proyecto	01Mar2018, 10:55	384.937	325.000	41.300

Fuente: Elaboración propia

Para un $Tr = 25$ años, se observa que el caudal Pico para el punto de estudio es igual a $325.000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para efectos prácticos y mejor entendimiento se generaron hidrogramas de flujo sólo para la Qda. Chula y el Río Huancabamba, ya que la Qda. Angostura se asumió como tributaria del Río Huancabamba (aguas arriba).

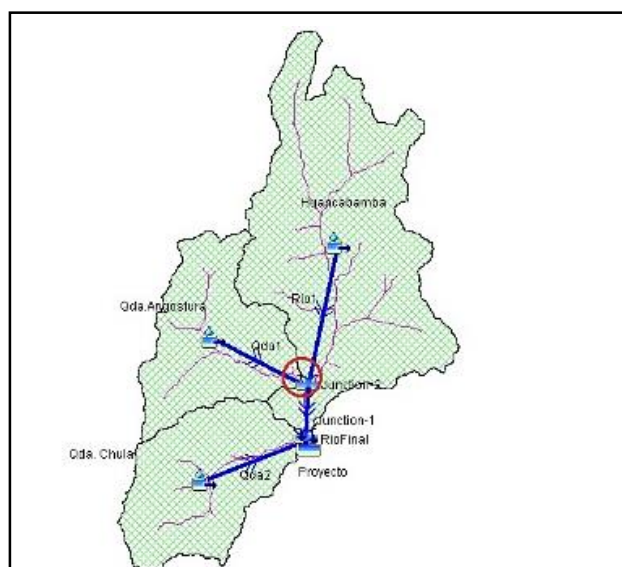


Figura 24. Flujos tributarios Río Huancabamba.

Fuente: Elaboración propia

4.3. HIDROGRAMAS DE FLUJO

Tabla 19. Hidrograma de flujo del Río Huancabamba y Qda. Chula (Tr=100 años)

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA			
Río Huancabamba		Qda. Chula	
2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
01/03/2018 00:00	56.800	01/03/2018 00:00	16.700
01/03/2018 00:55	56.800	01/03/2018 00:30	16.700
01/03/2018 01:00	56.900	01/03/2018 01:00	17.100
01/03/2018 02:00	59.000	01/03/2018 02:00	18.900
01/03/2018 03:00	62.800	01/03/2018 03:00	20.200
01/03/2018 04:00	68.600	01/03/2018 04:00	22.600
01/03/2018 05:00	76.900	01/03/2018 05:00	25.400
01/03/2018 06:00	88.100	01/03/2018 06:00	29.200
01/03/2018 07:00	101.700	01/03/2018 07:00	33.600
01/03/2018 08:00	123.100	01/03/2018 08:00	48.000
01/03/2018 09:00	188.500	01/03/2018 09:00	84.600
01/03/2018 09:35	238.100	01/03/2018 09:35	90.800
01/03/2018 09:40	244.500	01/03/2018 09:40	90.800
01/03/2018 10:00	267.200	01/03/2018 10:00	88.500
01/03/2018 11:00	296.800	01/03/2018 11:00	72.200
01/03/2018 12:00	281.900	01/03/2018 12:00	59.300
01/03/2018 13:00	253.100	01/03/2018 13:00	52.600
01/03/2018 14:00	228.300	01/03/2018 14:00	50.500
01/03/2018 15:00	212.500	01/03/2018 15:00	50.300
01/03/2018 16:00	203.200	01/03/2018 16:00	49.900
01/03/2018 17:00	197.600	01/03/2018 17:00	48.700
01/03/2018 18:00	187.800	01/03/2018 18:00	43.200
01/03/2018 19:00	174.400	01/03/2018 19:00	40.600
01/03/2018 20:00	163.900	01/03/2018 20:00	40.000
01/03/2018 21:00	157.700	01/03/2018 21:00	39.800
01/03/2018 22:00	153.400	01/03/2018 22:00	38.900
01/03/2018 23:00	149.900	01/03/2018 23:00	38.500
02/03/2018 00:00	147.800	02/03/2018 00:00	38.500

Fuente: Elaboración propia

Como muestra la Tabla de hidrograma de flujo, son eventos de simulación por cada hora y se inicia el 01/03/2018 a las 00:00 horas. Así mismo se resaltan los valores máximos y mínimos de flujo.

Respecto al Río Huancabamba se registró un flujo mínimo igual a 56.80 m³/s que se mantuvo hasta las 00:55 horas; así también el evento de simulación llega al pico el 01/03/2018 a las 11:00 horas y se registró un caudal máximo igual a 296.80 m³/s.

Por otro lado en la Qda. Chula se registró un flujo mínimo igual a $16.70 \text{ m}^3/\text{s}$ que se mantuvo hasta las 00:30 horas; así también el evento de simulación llega al pico el 01/03/2018 a las 09.35 horas y se registró un caudal máximo igual a $90.80 \text{ m}^3/\text{s}$.

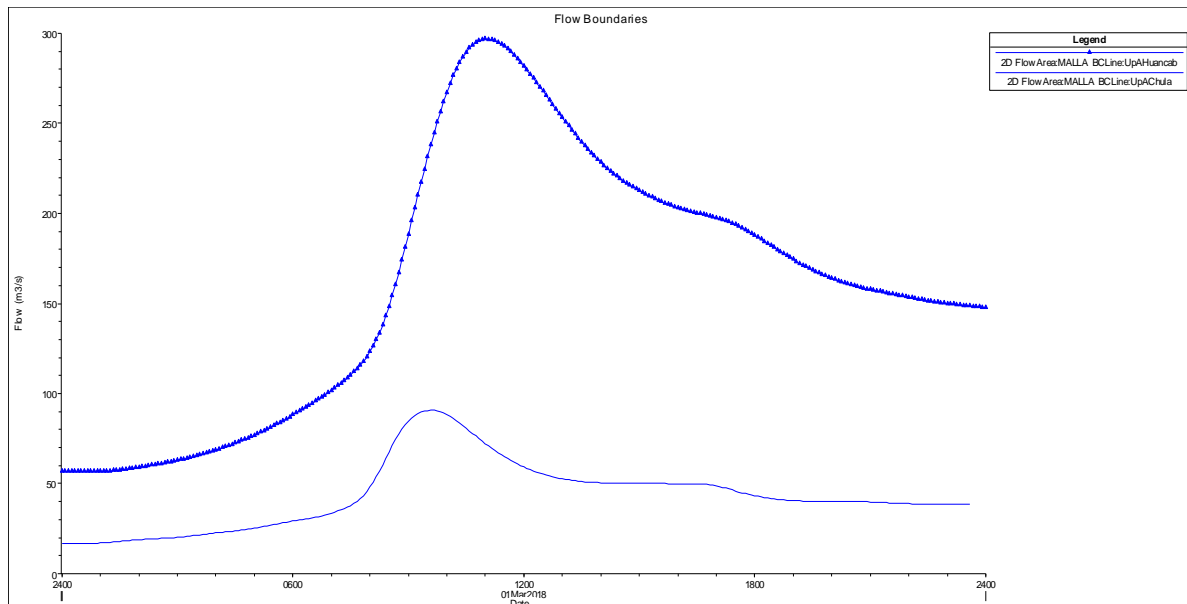


Figura 25. Hidrograma combinado del Río Huancabamba y Qda. Chula (Tr=100 años)

Fuente: Elaboración propia

El hidrograma combinado resultante muestra que en el momento de ocurrencia del caudal pico de la Qda. Chula (09:35 h), el caudal del Río Huancabamba tiene una tendencia creciente equivalente $238.20 \text{ m}^3/\text{s}$. Luego del momento pico la tendencia es decreciente con variantes significativas y culmina con un caudal equivalente a $147.80 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se muestra también que en el momento de ocurrencia del caudal pico del Río Huancabamba (11:00 h), el caudal de la Qda. Chula tiene una tendencia decreciente que culmina (00:00 h) sin variantes significativas equivalente a $38.60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 20. Hidrograma de flujo del Río Huancabamba y Qda. Chula (Tr = 50 años)

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA			
Río Huancabamba		Qda. Chula	
2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
01/03/2018 00:00	56.800	01/03/2018 00:00	16.700
01/03/2018 00:55	56.800	01/03/2018 00:30	16.700
01/03/2018 01:00	56.900	01/03/2018 01:00	17.100
01/03/2018 02:00	58.900	01/03/2018 02:00	18.700
01/03/2018 03:00	62.500	01/03/2018 03:00	19.900
01/03/2018 04:00	67.700	01/03/2018 04:00	22.000
01/03/2018 05:00	75.100	01/03/2018 05:00	24.500
01/03/2018 06:00	84.900	01/03/2018 06:00	27.900
01/03/2018 07:00	96.900	01/03/2018 07:00	31.700
01/03/2018 08:00	115.900	01/03/2018 08:00	44.300
01/03/2018 09:00	174.200	01/03/2018 09:00	77.100
01/03/2018 09:35	218.800	01/03/2018 09:35	83.000
01/03/2018 09:40	224.600	01/03/2018 09:40	83.000
01/03/2018 10:00	245.200	01/03/2018 10:00	81.100
01/03/2018 11:00	272.600	01/03/2018 11:00	66.800
01/03/2018 11:05	272.600	01/03/2018 11:05	65.600
01/03/2018 12:00	259.900	01/03/2018 12:00	55.300
01/03/2018 13:00	234.500	01/03/2018 13:00	49.200
01/03/2018 14:00	212.400	01/03/2018 14:00	47.300
01/03/2018 15:00	198.300	01/03/2018 15:00	47.100
01/03/2018 16:00	190.100	01/03/2018 16:00	46.800
01/03/2018 17:00	185.200	01/03/2018 17:00	45.800
01/03/2018 18:00	176.400	01/03/2018 18:00	40.800
01/03/2018 19:00	164.300	01/03/2018 19:00	38.400
01/03/2018 20:00	154.900	01/03/2018 20:00	37.900
01/03/2018 21:00	149.300	01/03/2018 21:00	37.700
01/03/2018 22:00	145.500	01/03/2018 22:00	37.000
01/03/2018 23:00	142.300	01/03/2018 23:00	36.700
02/03/2018 00:00	140.400	02/03/2018 00:00	36.700

Fuente: Elaboración propia

Como muestra la Tabla de hidrograma de flujo, son eventos de simulación por cada hora y se inicia el 01/03/2018 a las 00:00 horas. Así mismo se resaltan los valores mínimos y máximos de flujo.

Respecto al Río Huancabamba se registró un flujo mínimo igual a 56.80 m³/s que se mantuvo hasta las 00:55 horas; así también el evento de simulación llega al pico a las 11:00 hasta las 11:05 horas y se registró un caudal máximo igual a 272.60 m³/s.

Por otro lado en la Qda. Chula se registró un flujo mínimo el 01/03/2018 igual a 16.70 m³/s que se mantuvo hasta las 00:30 horas; así también el evento de simulación llega al pico a las 09:35 hasta las 09:40 horas y se registró un caudal máximo igual a 83.00 m³/s.

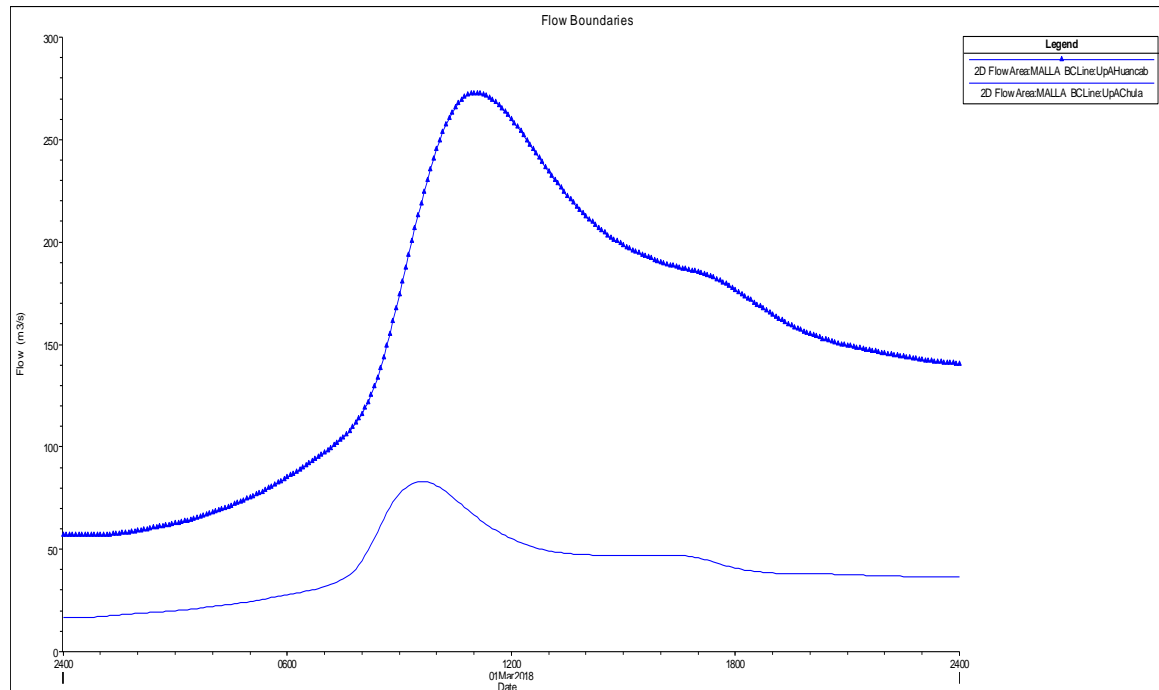


Figura 26. Hidrograma combinado del Río Huancabamba y Qda. Chula (Tr=50 años)

Fuente: Elaboración propia

El hidrograma combinado resultante muestra que en el momento de ocurrencia del caudal pico de la Qda. Chula (09:35 h), el caudal del Río Huancabamba tiene una tendencia creciente equivalente 218.80 m³/s. Luego del momento pico la tendencia es decreciente con variantes significativas y culmina con un caudal equivalente a 140.40 m³/s.

Se muestra también que en el momento de ocurrencia del caudal pico del Río Huancabamba (11:00 h), el caudal de la Qda. Chula tiene una tendencia decreciente que culmina (00:00 h) sin variantes significativas equivalente a 36.70 m³/s.

En la Qda. Chula la diferencia del flujo de ingreso y salida es igual a 20.00 m³/s y en el Río Huancabamba la diferencia del flujo de ingreso y salida es igual a 83.00 m³/s. Es evidente que el caudal de ingreso es diferente que el caudal de salida.

Tabla 21. Hidrograma de flujo del Río Huancabamba y Qda. Chula (Tr = 25 años)

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA			
Río Huancabamba		Qda. Chula	
2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
01/03/2018 00:00	56.800	01/03/2018 00:00	16.700
01/03/2018 00:55	56.800	01/03/2018 00:30	16.700
01/03/2018 01:00	56.900	01/03/2018 01:00	17.100
01/03/2018 02:00	58.700	01/03/2018 02:00	18.600
01/03/2018 03:00	62.100	01/03/2018 03:00	19.700
01/03/2018 04:00	66.900	01/03/2018 04:00	21.600
01/03/2018 05:00	73.500	01/03/2018 05:00	23.800
01/03/2018 06:00	82.500	01/03/2018 06:00	26.800
01/03/2018 07:00	93.300	01/03/2018 07:00	30.400
01/03/2018 08:00	110.500	01/03/2018 08:00	41.800
01/03/2018 09:00	163.700	01/03/2018 09:00	71.600
01/03/2018 09:35	204.400	01/03/2018 09:35	77.100
01/03/2018 09:40	209.800	01/03/2018 09:40	77.100
01/03/2018 10:00	228.700	01/03/2018 10:00	75.400
01/03/2018 11:00	254.000	01/03/2018 11:00	62.400
01/03/2018 11:05	254.000	01/03/2018 11:05	61.300
01/03/2018 12:00	242.600	01/03/2018 12:00	52.000
01/03/2018 13:00	219.500	01/03/2018 13:00	46.500
01/03/2018 14:00	199.400	01/03/2018 14:00	44.700
01/03/2018 15:00	186.600	01/03/2018 15:00	44.600
01/03/2018 16:00	179.200	01/03/2018 16:00	44.300
01/03/2018 17:00	174.900	01/03/2018 17:00	43.500
01/03/2018 18:00	167.000	01/03/2018 18:00	38.900
01/03/2018 19:00	155.900	01/03/2018 19:00	36.700
01/03/2018 20:00	147.300	01/03/2018 20:00	36.200
01/03/2018 21:00	142.200	01/03/2018 21:00	36.100
01/03/2018 22:00	138.700	01/03/2018 22:00	35.400
01/03/2018 23:00	135.800	01/03/2018 23:00	35.100
02/03/2018 00:00	134.000	02/03/2018 00:00	35.100

Fuente: Elaboración propia

Como muestra la Tabla de hidrograma de flujo, son eventos de simulación por cada hora y se inicia el 01/03/2018 a las 00:00 horas. Así mismo se resaltan los valores máximos y mínimos de flujo.

Respecto al Río Huancabamba se registró un flujo mínimo igual a 56.80 m³/s que se mantuvo hasta las 00:55 horas; así también el evento de simulación llega al pico a las 11:00 hasta las 11:05 horas y se registró un caudal máximo igual a 254.00 m³/s.

Por otro lado en la Qda. Chula se registró un flujo mínimo igual a $16.70 \text{ m}^3/\text{s}$ que se mantuvo hasta las 00:30 horas; así también el evento de simulación llega al pico a las 09:35 hasta las 09:40 horas y se registró un caudal máximo igual a $77.10 \text{ m}^3/\text{s}$.

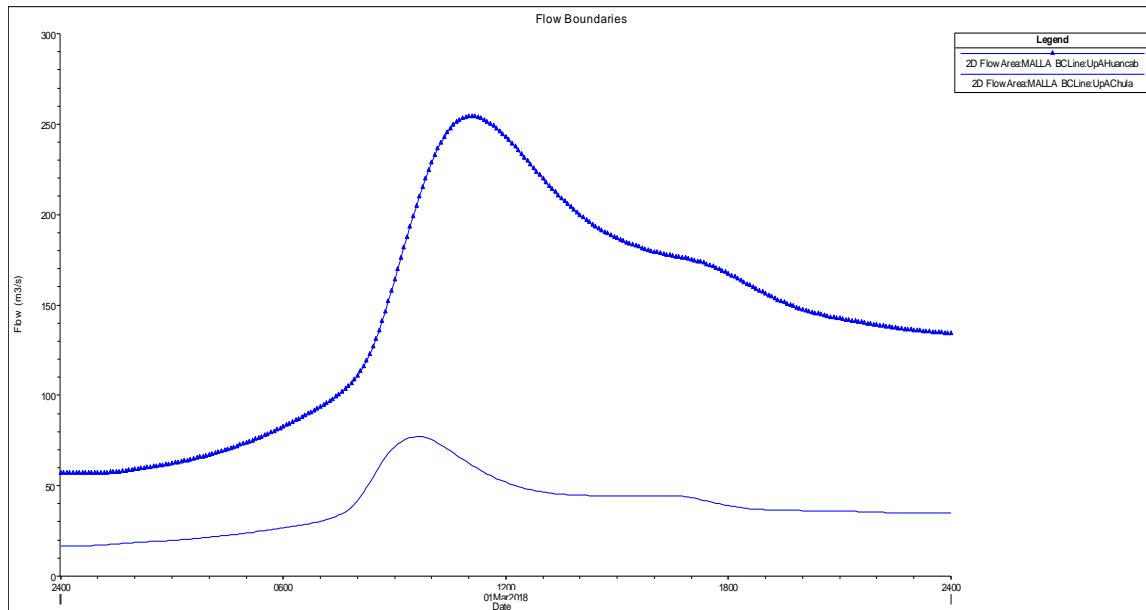


Figura 27. Hidrograma combinado del Río Huancabamba y Qda. Chula ($T_r=25$ años)

Fuente: Elaboración propia

El hidrograma combinado resultante muestra que en el momento de ocurrencia del caudal pico de la Qda. Chula (09:35 h), el caudal del Río Huancabamba tiene una tendencia creciente equivalente $204.40 \text{ m}^3/\text{s}$. Luego del momento pico la tendencia es decreciente con variantes significativas y culmina con un caudal equivalente a $134.00 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se muestra también que en el momento de ocurrencia del caudal pico del Río Huancabamba (11:00 h), el caudal de la Qda. Chula tiene una tendencia decreciente que culmina (00:00 h) sin variantes significativas equivalente a $35.10 \text{ m}^3/\text{s}$.

En la Qda. Chula la diferencia del flujo de ingreso y salida es igual a $18.40 \text{ m}^3/\text{s}$ y en el Río Huancabamba la diferencia del flujo de ingreso y salida es igual a $77.10 \text{ m}^3/\text{s}$. Es evidente que el caudal de ingreso es diferente que el caudal de salida.

4.4. VELOCIDADES GENERADAS

Tabla 22. Resumen de velocidades

TR (Años)	Velocity (meters/sec)			
	Hydrologic Element	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Medium (m/s)
100	Río Huancabamba	3.1100	5.7000	4.4100
	Qda. Chula	2.0700	3.5800	2.8300
50	Río Huancabamba	3.3000	5.5600	4.4300
	Qda. Chula	2.0000	4.5300	3.2700
25	Río Huancabamba	3.4000	5.3700	4.3900
	Qda. Chula	2.8700	3.5700	3.2200

Fuente: Elaboración propia

Las velocidades máximas se producen en los tramos estrechos del área investigada (cerca al puente Agropecuario); en un escenario de desborde para periodos de retorno de 100, 50 y 25 años, se consideran altas y pueden también causar efectos erosivos en la confluencia respecto al desnivel del terreno.

4.5. TIRANTES GENERADOS

Tabla 23. Resumen de niveles de agua

TR (Años)	Tirantes (meters)			
	Hydrologic Element	Minimum (m)	Maximum (m)	Medium (m)
100	Río Huancabamba	2.6800	3.5800	3.1300
	Qda. Chula	1.3900	1.8700	1.6300
50	Río Huancabamba	2.5700	3.4900	3.0300
	Qda. Chula	1.3600	1.8400	1.6000
25	Río Huancabamba	2.4500	3.3900	2.9200
	Qda. Chula	1.3100	1.7900	1.5500

Fuente: Elaboración propia

Según la simulación, los niveles de agua máximos tienen ocurrencia en los tramos angostos del cauce y en los tramos donde existen estructuras como puentes, ya que estos últimos no tienen la capacidad hidráulica respecto a los niveles de agua máximos mencionados, por lo que se genera un remanso que eleva el nivel de tirante hidráulico aguas arriba del cauce del Río Huancabamba, lo que a su vez genera erosión en las riberas debido a la elevada energía del Río Huancabamba.

En el tramo de la confluencia de la Quebrada Chula con el Río Huancabamba, entre las progresivas 2+160 km a 2+300 km se observa que las velocidades son muy elevadas, esto se debe a la turbulencia generada por el choque de las masas de agua, lo que provoca que el cauce modifique su morfología fluvial en este tramo, ampliando su sección.

Además, cabe indicar que los tirantes hidráulicos en las zonas de confluencia alcanzan niveles hasta de 3.45 metros, con un régimen subcrítico con valores de Froude que varían entre 0.78 hasta 0.98.

4.6. PUNTOS CRÍTICOS



Figura 28. Confluencia de la Qda. Chula con el Río Huancabamba

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la imagen, la confluencia (prog. 1+850 km hasta 2+050 km), se considera punto crítico ya que los niveles de agua han generado el desborde del río, esto se debe a la turbulencia generada en la confluencia; se puede apreciar que las viviendas se ven afectadas por la inundación.

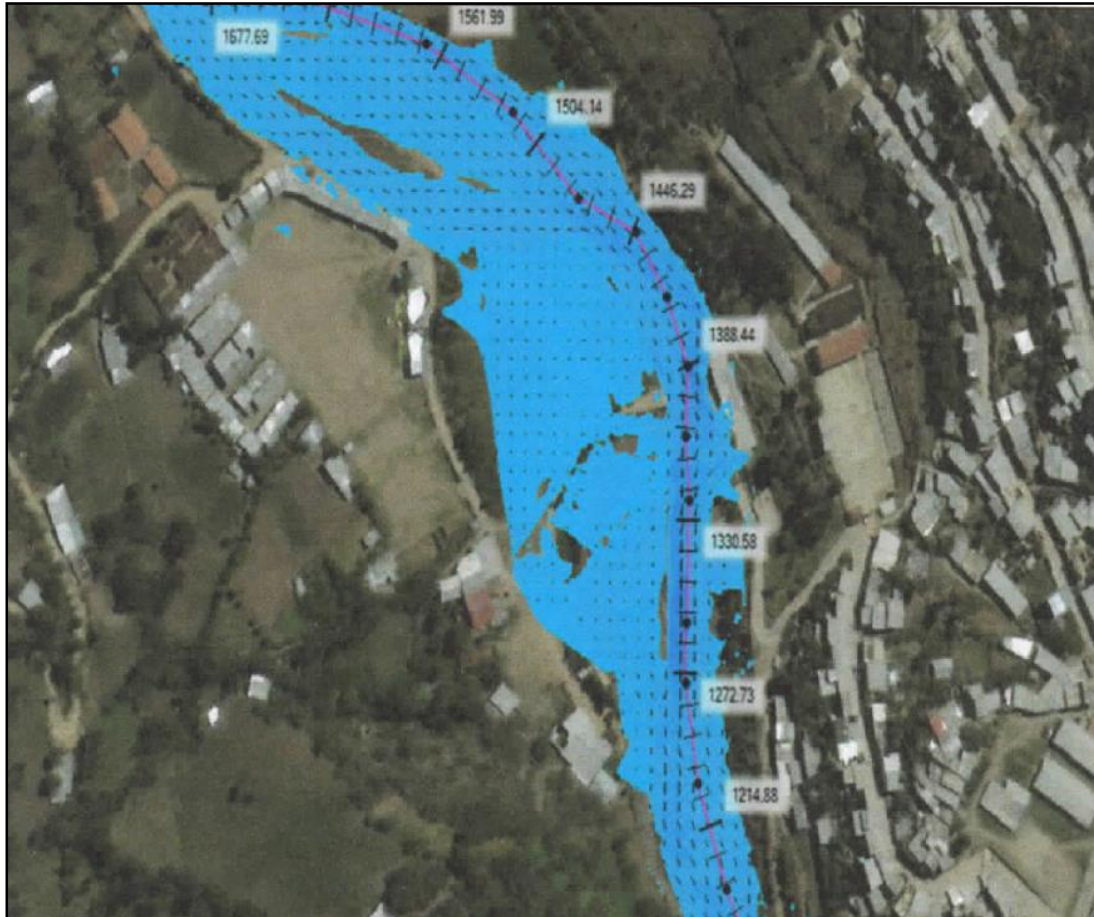


Figura 29. Progresiva 1+220 hasta 1+550 (Sector La Perla)

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la imagen existe una sinuosidad en el cauce del Río Huancabamba, cuya pendiente es 0.0154 (m/m), la cual en la margen derecha del río a lo largo de 282.40 metros se considera punto crítico por la influencia negativa en un probable evento de desborde respecto al ámbito urbano.

Se observa que el cauce debido a la magnitud de los caudales cubre toda la llanura de inundación de la margen derecha, se puede decir que los niveles de tirantes hidráulicos en esta zona del río varían de 2.60 a 3.35 metros, y en la zona inundable varían de 0.30 a 1.20 metros.

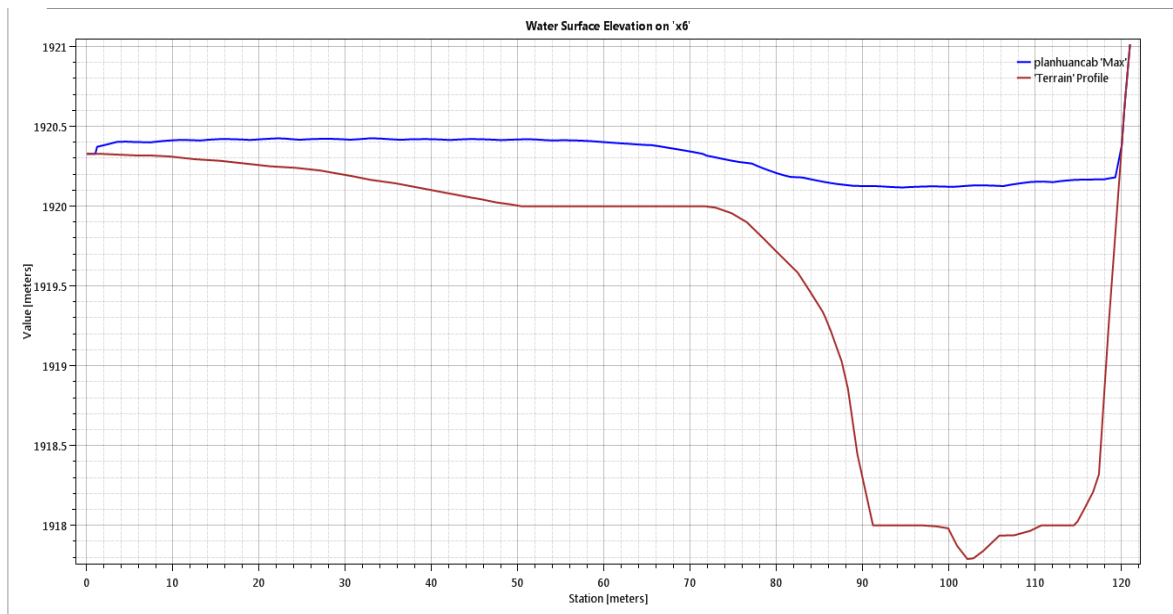


Figura 30. Sección transversal km 1+390.00

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30, se puede apreciar la sección transversal del Río Huancabamba, donde el nivel de agua sobrepasa el nivel del terreno aproximadamente con 0.50 metros.



Figura 31. Progresiva 0+100 hasta 1+000

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia, existe un estrechamiento en el cauce del río cuya pendiente es 0.022 (m/m), el cual se considera punto crítico por las velocidades y tirantes más altos generados en un probable escenario de desborde; además de la afectación al puente Agropecuario ubicado en dicha progresiva.

4.7. ZONAS INUNDABLES

Tabla 24. Resumen de zonas inundables para cada periodo de retorno

PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS	
ZONA	ÁREA (Has.)
ZONA INUNDABLE I	1.2450
ZONA INUNDABLE II	1.2570
ZONA INUNDABLE III	0.2660
ZONA INUNDABLE IV	0.1490
ZONA INUNDABLE V	0.2620
ZONA INUNDABLE VI	1.2350
ÁREA TOTAL	4.4150
PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS	
ZONA	ÁREA (Has.)
ZONA INUNDABLE I	0.3300
ZONA INUNDABLE II	0.1400
ZONA INUNDABLE III	0.3800
ZONA INUNDABLE IV	0.2600
ZONA INUNDABLE V	0.0900
ZONA INUNDABLE VI	0.2300
ZONA INUNDABLE VII	0.2900
ZONA INUNDABLE VIII	0.1200
ÁREA TOTAL	1.5100
PERIODO DE RETORNO 25 AÑOS	
ZONA	ÁREA (Has.)
ZONA INUNDABLE I	0.3190
ZONA INUNDABLE II	0.3420
ZONA INUNDABLE III	0.1460
ZONA INUNDABLE IV	0.0790
ZONA INUNDABLE V	0.0690
ZONA INUNDABLE VI	0.0550
ÁREA TOTAL	1.0110

Fuente: Elaboración propia

Según la simulación bidimensional para un periodo de retorno $Tr = 100$ años, la zona inundable de mayor área equivale a 1.245 ha., la cual está ubicada en la confluencia con la Qda. Chula aguas arriba del ámbito urbano. Las zonas inundables III y VI se encuentran en la margen izquierda del Río Huancabamba, mientras que las zonas inundables I, II, IV y V se encuentran en la margen derecha del Río Huancabamba.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- En base a la aplicación del modelo de simulación, el Río Huancabamba para un periodo de retorno en término de los 25, 50 y 100 años, se detectó un flujo inestable de agua resultante de 325.00 m³/s, 348.80 m³/s y 370.60 m³/s respectivamente.
- El desnivel en el cauce del rio es notable en la zona de estrechamiento por la pendiente equivalente a 2.25%, la cual genera velocidades muy erosivas, que pueden producir socavamiento de las obras de encauzamiento existentes.
- Se determinaron zonas inundables para cada periodo de retorno las cuales fueron 1.01 ha para un caudal de Tr = 25 años igual a 325.00 m³/s; 1.51 ha para un caudal de Tr = 50 años igual a 348.80 m³/s y 4.41 ha para un caudal de Tr = 100 años igual a 370.60 m³/s. En total fueron 6 las zonas inundables determinadas para un periodo de retorno
- Las velocidades máximas generadas se dan en el tramo urbano, entre las progresivas 0+100 km a 1+000 km, con valores que varían de 3.11 m/s a 5.70 m/s debido a que el área hidráulica se ve reducida, generando un riesgo alto por la erosión de las márgenes del Río Huancabamba.
- En total se determinaron 6 zonas inundables (2 a la margen izquierda y 4 a la margen derecha del Río Huancabamba), a partir de ello se elaboraron láminas de zonas inundables, velocidades máximas, tirantes máximos; las mencionadas se encuentran en los anexos de esta investigación.

- Los puntos críticos identificados se ubican desde la confluencia de la Quebrada Chula y el Río Huancabamba, en el tramo ubicado entre las progresivas 1+850 km hasta 2+050 km, en las inmediaciones del caserío La Perla, hasta el sector del Barrio Chalaco que es la parte baja de la ciudad de Huancabamba; ambos ámbitos territoriales se consideran vulnerables frente a probables desbordes por las pérdidas desde el punto de vista humano, económico y productivo.

- La precisión del modelo depende del intervalo del tiempo computacional, el cual es calculado teniendo en cuenta el número de Courant, el cual permite establecer tiempos de computación adecuados para lograr la convergencia y estabilidad del modelo numérico. Si el intervalo computacional del tiempo de simulación es menor, entonces se obtienen valores de velocidades y tirantes próximos a los reales, por ende, la precisión es mayor. Así también la precisión depende de las dimensiones de la malla generada en Hec-RAS v.5.0, por ello es recomendable que el tamaño de las celdas debe ser lo convenientemente pequeñas para obtener mejor detalle en el resultado de la simulación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Propugnar la aplicación de modelos matemáticos como el Hec-RAS v.5.0, en la investigación y determinación de zonas inundables ante aparición de fuertes precipitaciones pluviales, como un instrumento potente para representar el comportamiento hidráulico de un cauce y brindar resultados confiables en la elaboración de mapas de inundación, diseño de estructuras hidráulicas y civiles, etc.
- Se recomienda procesar información indispensablemente congruente con la realidad del área específica en estudio, como topografía, valores de rugosidad de Manning, etc. para lograr una simulación hidráulica con resultados confiables que se puedan orientar también en temas de organización, dirección y control de actividades relacionadas con la identificación de peligros y evaluación de riesgos, para crear Planes y Procedimientos de Emergencia, con la finalidad de trabajar con gestión activa y responder de manera acertada a los riesgos a los que están expuestos la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio Mijares, F. J. (1993). Fundamentos de Hidrología de Superficie. Primera Edición. México D. F, Editorial LIMUSA. 291p.
- Brunner Gary, W. (2014). Combined 1D and 2D Modeling with Hec-Ras. USA. 130p.
- Bustamante Huamán, Y. A. (2013). Modelamiento Numérico de una Onda de Avenida generada por la rotura de la Presa de Tierra Yuracmayo y su estimación de Riesgo. Lima, Perú, UNMSM. 206p.
- Cahuana Andia, A., Yugar Morales, W. (2009). Material de Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje de la Asignatura de Hidrología CIV-233. Cochabamba, Bolivia. 414p.
- Chereque Wendor (1996). Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil. Segunda Edición. Lima, Perú, Auspicio CONCYTEC. 236p.
- Chow Ven Te (1994). Applied Hydrology. Primera Edición. Santafé de Bogotá, Colombia, Editorial NOMAS S.A. 298p.
- Fattorelli, S., Fernández, P. C. (2011). Diseño Hidrológico. Segunda Edición. Buenos Aires, Argentina. 531p.
- Felicísimo M, A (1994). Los Modelos Digitales de Terreno – Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales son una categoría. Oviedo, España, Tesis Doctoral. 118p.
- Fuentes Vélchez, I. F. (2015). Ampliación de las Defensas Ribereñas de la ciudad de Huancabamba, Provincia de Huancabamba – Piura. 324p.
- García C, A (2013). Análisis de Distribuciones Estadísticas Alternativas a las tradicionales para la optimización de los caudales de cálculo empleados en los estudios hidrológicos. Universidad de Extremadura. Badajoz, España, Tesis Doctoral. 223p.
- Hernández Sanpieri, R., Baptista Lucio, M. (2010). Metodología de la Investigación. Quinta Edición. México D.F, Ediciones INTERAMERICANA. 656p.
- Lluén Chero, W. E. (2015). Aplicación de la nueva herramienta Hec-Ras 5.0 para Cálculos Bidimensionales del Flujo de Agua en ríos. Escola de Camins, UPC Barcelona. 74p.

- Mark Forest, P.E., CFM and Mitch Blum, P.E. (2014). Testing and Use of Hec-Ras 2D for Fema PMRs. Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 118p.
- Martín, JP. (2003). Ingeniería de Ríos. Segunda Edición. México D. F, Ediciones Alfaomega. 331p.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Dirección de Estudios Especiales del MTC. Perú. 209p.
- Pizarro Et Al., (1993). Elementos técnicos de hidrología III. Proyecto regional mayor sobre uso y conservación de recursos hídricos en áreas rurales de América latina y el caribe. Talca: Universidad de Talca, Chile. 135p.
- Rocha Arturo (1998). Introducción a la Hidráulica Fluvial. Primera Edición. Lima, Perú, UNI. 243p.
- Romero L, E. Lavado C, W. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Servicio Nacional de Meteorología. Lima, Perú, Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 28. 11p
- Segura S, L. CASASOLA R, A. (2011). Modelación Hidráulica para el Análisis y Propuesta de Obras de Mitigación de Inundaciones en Finca Valle La Estrella. Instituto Tecnológico de Costa Rica Área Académica Agroforestal Programa de Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción. Cartago, Costa Rica. Trabajo de graduación. 171p.
- Torrez Q, E. (2010). Aplicación del Modelo de Simulación Hidráulica HEC-RAS para la emisión de Pronósticos Hidrológicos de Inundaciones en Tiempo Real, en la Cuenca Media del Río Bogotá – Sector Alicachin. Grupo TECNOAMBIENTAL Universidad Libre. Bogota, Colombia. 17p.
- Vergara, M. (1993). Técnicas de Modelación en Hidráulica. Primera Edición. México D.F, Ediciones Alfaomega. 294p
- Villón, M. (2008). HEC-RAS Ejemplos. Segunda Edición. Cartago, Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 732p.

ANEXOS

ANEXO 1: Caudales generados en la simulación para Tr = 100 años

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA			
Río Huancabamba		Qda. Chula	
2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
01/03/2018 00:00	56.800	01/03/2018 00:00	16.700
01/03/2018 00:05	56.800	01/03/2018 00:05	16.700
01/03/2018 00:10	56.800	01/03/2018 00:10	16.700
01/03/2018 00:15	56.800	01/03/2018 00:15	16.700
01/03/2018 00:20	56.800	01/03/2018 00:20	16.700
01/03/2018 00:25	56.800	01/03/2018 00:25	16.700
01/03/2018 00:30	56.800	01/03/2018 00:30	16.700
01/03/2018 00:35	56.800	01/03/2018 00:35	16.800
01/03/2018 00:40	56.800	01/03/2018 00:40	16.800
01/03/2018 00:45	56.800	01/03/2018 00:45	16.800
01/03/2018 00:50	56.800	01/03/2018 00:50	16.900
01/03/2018 00:55	56.800	01/03/2018 00:55	17.000
01/03/2018 01:00	56.900	01/03/2018 01:00	17.100
01/03/2018 01:05	56.900	01/03/2018 01:05	17.200
01/03/2018 01:10	57.000	01/03/2018 01:10	17.400
01/03/2018 01:15	57.100	01/03/2018 01:15	17.500
01/03/2018 01:20	57.200	01/03/2018 01:20	17.700
01/03/2018 01:25	57.400	01/03/2018 01:25	17.800
01/03/2018 01:30	57.600	01/03/2018 01:30	18.000
01/03/2018 01:35	57.700	01/03/2018 01:35	18.200
01/03/2018 01:40	58.000	01/03/2018 01:40	18.300
01/03/2018 01:45	58.200	01/03/2018 01:45	18.500
01/03/2018 01:50	58.400	01/03/2018 01:50	18.600
01/03/2018 01:55	58.700	01/03/2018 01:55	18.700
01/03/2018 02:00	59.000	01/03/2018 02:00	18.900
01/03/2018 02:05	59.300	01/03/2018 02:05	19.000
01/03/2018 02:10	59.600	01/03/2018 02:10	19.100
01/03/2018 02:15	59.900	01/03/2018 02:15	19.200
01/03/2018 02:20	60.200	01/03/2018 02:20	19.300
01/03/2018 02:25	60.500	01/03/2018 02:25	19.400
01/03/2018 02:30	60.800	01/03/2018 02:30	19.500
01/03/2018 02:35	61.100	01/03/2018 02:35	19.600
01/03/2018 02:40	61.400	01/03/2018 02:40	19.700
01/03/2018 02:45	61.700	01/03/2018 02:45	19.800
01/03/2018 02:50	62.100	01/03/2018 02:50	19.900
01/03/2018 02:55	62.400	01/03/2018 02:55	20.000
01/03/2018 03:00	62.800	01/03/2018 03:00	20.200
01/03/2018 03:05	63.200	01/03/2018 03:05	20.300
01/03/2018 03:10	63.600	01/03/2018 03:10	20.500
01/03/2018 03:15	64.000	01/03/2018 03:15	20.700
01/03/2018 03:20	64.400	01/03/2018 03:20	20.900
01/03/2018 03:25	64.900	01/03/2018 03:25	21.100
01/03/2018 03:30	65.300	01/03/2018 03:30	21.300
01/03/2018 03:35	65.800	01/03/2018 03:35	21.500

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA				
Río Huancabamba			Qda. Chula	
2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)		2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
01/03/2018 03:40	66.400		01/03/2018 03:40	21.700
01/03/2018 03:45	66.900		01/03/2018 03:45	21.900
01/03/2018 03:50	67.400		01/03/2018 03:50	22.100
01/03/2018 03:55	68.000		01/03/2018 03:55	22.400
01/03/2018 04:00	68.600		01/03/2018 04:00	22.600
01/03/2018 04:05	69.200		01/03/2018 04:05	22.800
01/03/2018 04:10	69.800		01/03/2018 04:10	23.000
01/03/2018 04:15	70.500		01/03/2018 04:15	23.200
01/03/2018 04:20	71.100		01/03/2018 04:20	23.400
01/03/2018 04:25	71.800		01/03/2018 04:25	23.600
01/03/2018 04:30	72.500		01/03/2018 04:30	23.900
01/03/2018 04:35	73.200		01/03/2018 04:35	24.100
01/03/2018 04:40	73.900		01/03/2018 04:40	24.300
01/03/2018 04:45	74.600		01/03/2018 04:45	24.500
01/03/2018 04:50	75.300		01/03/2018 04:50	24.800
01/03/2018 04:55	76.100		01/03/2018 04:55	25.100
01/03/2018 05:00	76.900		01/03/2018 05:00	25.400
01/03/2018 05:05	77.700		01/03/2018 05:05	25.600
01/03/2018 05:10	78.500		01/03/2018 05:10	26.000
01/03/2018 05:15	79.400		01/03/2018 05:15	26.300
01/03/2018 05:20	80.200		01/03/2018 05:20	26.600
01/03/2018 05:25	81.100		01/03/2018 05:25	26.900
01/03/2018 05:30	82.100		01/03/2018 05:30	27.300
01/03/2018 05:35	83.000		01/03/2018 05:35	27.600
01/03/2018 05:40	84.000		01/03/2018 05:40	27.900
01/03/2018 05:45	85.000		01/03/2018 05:45	28.300
01/03/2018 05:50	86.000		01/03/2018 05:50	28.600
01/03/2018 05:55	87.000		01/03/2018 05:55	28.900
01/03/2018 06:00	88.100		01/03/2018 06:00	29.200
01/03/2018 06:05	89.100		01/03/2018 06:05	29.500
01/03/2018 06:10	90.200		01/03/2018 06:10	29.800
01/03/2018 06:15	91.300		01/03/2018 06:15	30.100
01/03/2018 06:20	92.400		01/03/2018 06:20	30.400
01/03/2018 06:25	93.500		01/03/2018 06:25	30.700
01/03/2018 06:30	94.600		01/03/2018 06:30	31.000
01/03/2018 06:35	95.700		01/03/2018 06:35	31.300
01/03/2018 06:40	96.800		01/03/2018 06:40	31.700
01/03/2018 06:45	98.000		01/03/2018 06:45	32.100
01/03/2018 06:50	99.200		01/03/2018 06:50	32.600
01/03/2018 06:55	100.400		01/03/2018 06:55	33.100
01/03/2018 07:00	101.700		01/03/2018 07:00	33.600
01/03/2018 07:05	103.000		01/03/2018 07:05	34.200
01/03/2018 07:10	104.400		01/03/2018 07:10	34.800
01/03/2018 07:15	105.800		01/03/2018 07:15	35.500

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA					
Río Huancabamba			Qda. Chula		
2D Flow	Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow	Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
	01/03/2018 07:20	107.200		01/03/2018 07:20	36.200
	01/03/2018 07:25	108.800		01/03/2018 07:25	37.000
	01/03/2018 07:30	110.400		01/03/2018 07:30	37.800
	01/03/2018 07:35	112.000		01/03/2018 07:35	38.900
	01/03/2018 07:40	113.800		01/03/2018 07:40	40.100
	01/03/2018 07:45	115.800		01/03/2018 07:45	41.600
	01/03/2018 07:50	118.000		01/03/2018 07:50	43.400
	01/03/2018 07:55	120.400		01/03/2018 07:55	45.600
	01/03/2018 08:00	123.100		01/03/2018 08:00	48.000
	01/03/2018 08:05	126.200		01/03/2018 08:05	50.800
	01/03/2018 08:10	129.700		01/03/2018 08:10	53.800
	01/03/2018 08:15	133.700		01/03/2018 08:15	57.100
	01/03/2018 08:20	138.100		01/03/2018 08:20	60.600
	01/03/2018 08:25	143.000		01/03/2018 08:25	64.100
	01/03/2018 08:30	148.400		01/03/2018 08:30	67.700
	01/03/2018 08:35	154.200		01/03/2018 08:35	71.200
	01/03/2018 08:40	160.500		01/03/2018 08:40	74.500
	01/03/2018 08:45	167.100		01/03/2018 08:45	77.500
	01/03/2018 08:50	174.100		01/03/2018 08:50	80.200
	01/03/2018 08:55	181.200		01/03/2018 08:55	82.600
	01/03/2018 09:00	188.500		01/03/2018 09:00	84.600
	01/03/2018 09:05	195.800		01/03/2018 09:05	86.300
	01/03/2018 09:10	203.100		01/03/2018 09:10	87.700
	01/03/2018 09:15	210.400		01/03/2018 09:15	88.800
	01/03/2018 09:20	217.500		01/03/2018 09:20	89.600
	01/03/2018 09:25	224.600		01/03/2018 09:25	90.300
	01/03/2018 09:30	231.400		01/03/2018 09:30	90.600
	01/03/2018 09:35	238.100		01/03/2018 09:35	90.800
	01/03/2018 09:40	244.500		01/03/2018 09:40	90.800
	01/03/2018 09:45	250.600		01/03/2018 09:45	90.500
	01/03/2018 09:50	256.500		01/03/2018 09:50	90.100
	01/03/2018 09:55	262.100		01/03/2018 09:55	89.400
	01/03/2018 10:00	267.200		01/03/2018 10:00	88.500
	01/03/2018 10:05	272.000		01/03/2018 10:05	87.500
	01/03/2018 10:10	276.400		01/03/2018 10:10	86.300
	01/03/2018 10:15	280.300		01/03/2018 10:15	85.000
	01/03/2018 10:20	283.800		01/03/2018 10:20	83.600
	01/03/2018 10:25	286.900		01/03/2018 10:25	82.200
	01/03/2018 10:30	289.500		01/03/2018 10:30	80.800
	01/03/2018 10:35	291.700		01/03/2018 10:35	79.300
	01/03/2018 10:40	293.500		01/03/2018 10:40	77.800
	01/03/2018 10:45	294.900		01/03/2018 10:45	76.400
	01/03/2018 10:50	295.800		01/03/2018 10:50	75.000
	01/03/2018 10:55	296.500		01/03/2018 10:55	73.600

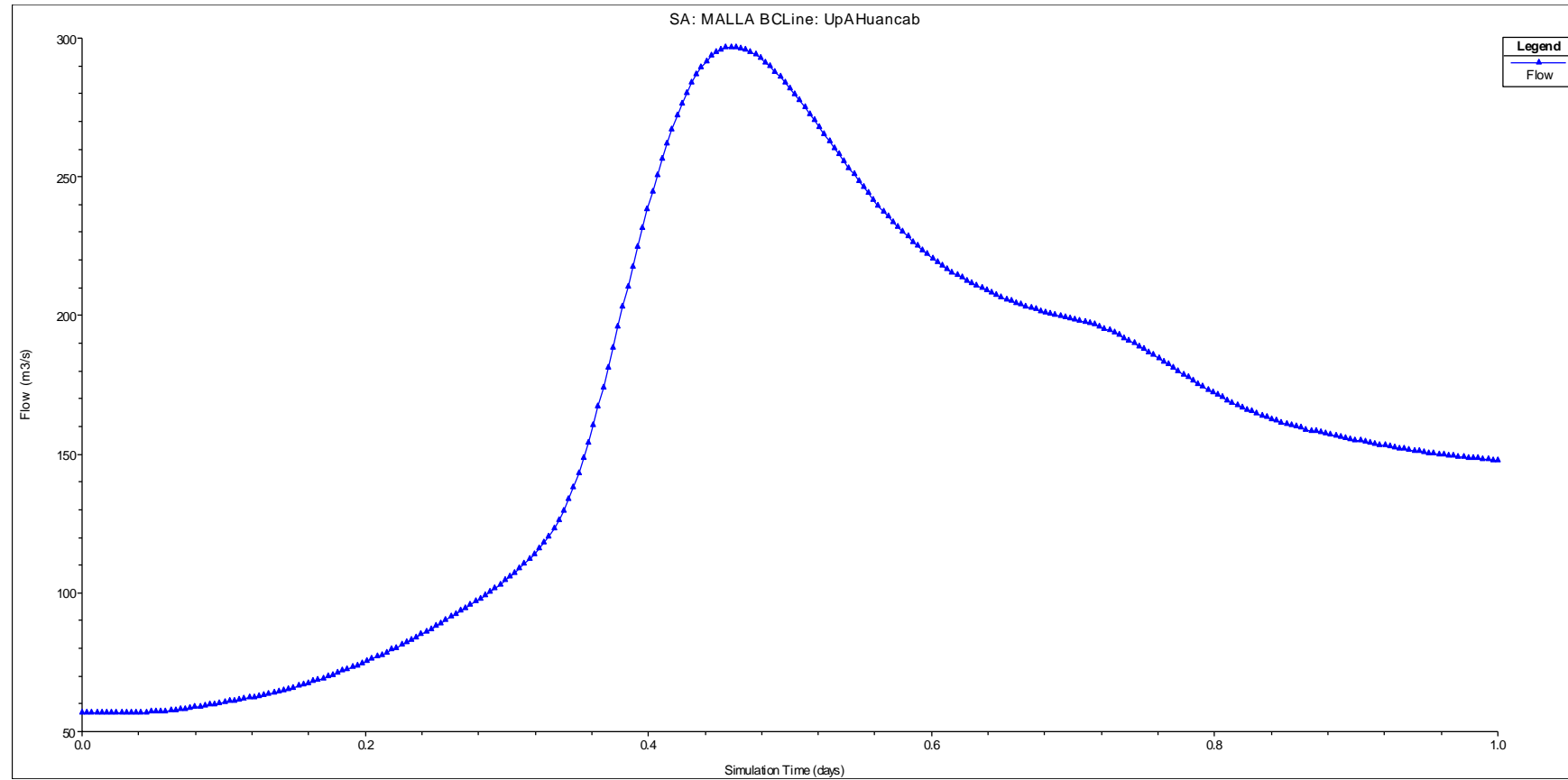
TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA			
Río Huancabamba		Qda. Chula	
2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
01/03/2018 11:00	296.800	01/03/2018 11:00	72.200
01/03/2018 11:05	296.700	01/03/2018 11:05	70.900
01/03/2018 11:10	296.400	01/03/2018 11:10	69.600
01/03/2018 11:15	295.900	01/03/2018 11:15	68.300
01/03/2018 11:20	295.100	01/03/2018 11:20	67.100
01/03/2018 11:25	294.000	01/03/2018 11:25	66.000
01/03/2018 11:30	292.800	01/03/2018 11:30	64.900
01/03/2018 11:35	291.300	01/03/2018 11:35	63.800
01/03/2018 11:40	289.700	01/03/2018 11:40	62.800
01/03/2018 11:45	287.900	01/03/2018 11:45	61.900
01/03/2018 11:50	286.000	01/03/2018 11:50	61.000
01/03/2018 11:55	284.000	01/03/2018 11:55	60.100
01/03/2018 12:00	281.900	01/03/2018 12:00	59.300
01/03/2018 12:05	279.700	01/03/2018 12:05	58.500
01/03/2018 12:10	277.400	01/03/2018 12:10	57.800
01/03/2018 12:15	275.000	01/03/2018 12:15	57.100
01/03/2018 12:20	272.700	01/03/2018 12:20	56.500
01/03/2018 12:25	270.200	01/03/2018 12:25	55.800
01/03/2018 12:30	267.800	01/03/2018 12:30	55.300
01/03/2018 12:35	265.300	01/03/2018 12:35	54.700
01/03/2018 12:40	262.900	01/03/2018 12:40	54.200
01/03/2018 12:45	260.400	01/03/2018 12:45	53.800
01/03/2018 12:50	258.000	01/03/2018 12:50	53.400
01/03/2018 12:55	255.500	01/03/2018 12:55	53.000
01/03/2018 13:00	253.100	01/03/2018 13:00	52.600
01/03/2018 13:05	250.800	01/03/2018 13:05	52.300
01/03/2018 13:10	248.500	01/03/2018 13:10	52.100
01/03/2018 13:15	246.200	01/03/2018 13:15	51.800
01/03/2018 13:20	244.000	01/03/2018 13:20	51.600
01/03/2018 13:25	241.800	01/03/2018 13:25	51.400
01/03/2018 13:30	239.700	01/03/2018 13:30	51.200
01/03/2018 13:35	237.600	01/03/2018 13:35	51.000
01/03/2018 13:40	235.600	01/03/2018 13:40	50.900
01/03/2018 13:45	233.700	01/03/2018 13:45	50.800
01/03/2018 13:50	231.800	01/03/2018 13:50	50.700
01/03/2018 13:55	230.000	01/03/2018 13:55	50.600
01/03/2018 14:00	228.300	01/03/2018 14:00	50.500
01/03/2018 14:05	226.600	01/03/2018 14:05	50.500
01/03/2018 14:10	225.000	01/03/2018 14:10	50.500
01/03/2018 14:15	223.500	01/03/2018 14:15	50.400
01/03/2018 14:20	222.000	01/03/2018 14:20	50.400
01/03/2018 14:25	220.600	01/03/2018 14:25	50.400
01/03/2018 14:30	219.300	01/03/2018 14:30	50.400
01/03/2018 14:35	218.000	01/03/2018 14:35	50.400

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA					
Río Huancabamba			Qda. Chula		
2D Flow	Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow	Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
	01/03/2018 14:40	216.800		01/03/2018 14:40	50.400
	01/03/2018 14:45	215.600		01/03/2018 14:45	50.400
	01/03/2018 14:50	214.500		01/03/2018 14:50	50.400
	01/03/2018 14:55	213.500		01/03/2018 14:55	50.300
	01/03/2018 15:00	212.500		01/03/2018 15:00	50.300
	01/03/2018 15:05	211.500		01/03/2018 15:05	50.300
	01/03/2018 15:10	210.600		01/03/2018 15:10	50.200
	01/03/2018 15:15	209.700		01/03/2018 15:15	50.200
	01/03/2018 15:20	208.900		01/03/2018 15:20	50.100
	01/03/2018 15:25	208.100		01/03/2018 15:25	50.100
	01/03/2018 15:30	207.300		01/03/2018 15:30	50.000
	01/03/2018 15:35	206.500		01/03/2018 15:35	50.000
	01/03/2018 15:40	205.800		01/03/2018 15:40	50.000
	01/03/2018 15:45	205.100		01/03/2018 15:45	49.900
	01/03/2018 15:50	204.500		01/03/2018 15:50	49.900
	01/03/2018 15:55	203.800		01/03/2018 15:55	49.900
	01/03/2018 16:00	203.200		01/03/2018 16:00	49.900
	01/03/2018 16:05	202.600		01/03/2018 16:05	49.800
	01/03/2018 16:10	202.100		01/03/2018 16:10	49.800
	01/03/2018 16:15	201.600		01/03/2018 16:15	49.800
	01/03/2018 16:20	201.100		01/03/2018 16:20	49.900
	01/03/2018 16:25	200.600		01/03/2018 16:25	49.800
	01/03/2018 16:30	200.200		01/03/2018 16:30	49.800
	01/03/2018 16:35	199.800		01/03/2018 16:35	49.800
	01/03/2018 16:40	199.300		01/03/2018 16:40	49.700
	01/03/2018 16:45	198.900		01/03/2018 16:45	49.500
	01/03/2018 16:50	198.500		01/03/2018 16:50	49.300
	01/03/2018 16:55	198.100		01/03/2018 16:55	49.100
	01/03/2018 17:00	197.600		01/03/2018 17:00	48.700
	01/03/2018 17:05	197.100		01/03/2018 17:05	48.400
	01/03/2018 17:10	196.600		01/03/2018 17:10	47.900
	01/03/2018 17:15	195.900		01/03/2018 17:15	47.500
	01/03/2018 17:20	195.300		01/03/2018 17:20	47.000
	01/03/2018 17:25	194.500		01/03/2018 17:25	46.500
	01/03/2018 17:30	193.700		01/03/2018 17:30	45.900
	01/03/2018 17:35	192.900		01/03/2018 17:35	45.400
	01/03/2018 17:40	191.900		01/03/2018 17:40	44.900
	01/03/2018 17:45	191.000		01/03/2018 17:45	44.500
	01/03/2018 17:50	189.900		01/03/2018 17:50	44.000
	01/03/2018 17:55	188.900		01/03/2018 17:55	43.600
	01/03/2018 18:00	187.800		01/03/2018 18:00	43.200
	01/03/2018 18:05	186.700		01/03/2018 18:05	42.900
	01/03/2018 18:10	185.600		01/03/2018 18:10	42.500
	01/03/2018 18:15	184.500		01/03/2018 18:15	42.200

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA					
Río Huancabamba			Qda. Chula		
2D Flow	Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow	Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
	01/03/2018 18:20	183.300		01/03/2018 18:20	42.000
	01/03/2018 18:25	182.200		01/03/2018 18:25	41.700
	01/03/2018 18:30	181.000		01/03/2018 18:30	41.500
	01/03/2018 18:35	179.900		01/03/2018 18:35	41.300
	01/03/2018 18:40	178.800		01/03/2018 18:40	41.100
	01/03/2018 18:45	177.600		01/03/2018 18:45	40.900
	01/03/2018 18:50	176.500		01/03/2018 18:50	40.800
	01/03/2018 18:55	175.400		01/03/2018 18:55	40.700
	01/03/2018 19:00	174.400		01/03/2018 19:00	40.600
	01/03/2018 19:05	173.300		01/03/2018 19:05	40.500
	01/03/2018 19:10	172.300		01/03/2018 19:10	40.400
	01/03/2018 19:15	171.300		01/03/2018 19:15	40.300
	01/03/2018 19:20	170.400		01/03/2018 19:20	40.200
	01/03/2018 19:25	169.400		01/03/2018 19:25	40.200
	01/03/2018 19:30	168.500		01/03/2018 19:30	40.100
	01/03/2018 19:35	167.700		01/03/2018 19:35	40.100
	01/03/2018 19:40	166.900		01/03/2018 19:40	40.100
	01/03/2018 19:45	166.100		01/03/2018 19:45	40.000
	01/03/2018 19:50	165.300		01/03/2018 19:50	40.000
	01/03/2018 19:55	164.600		01/03/2018 19:55	40.000
	01/03/2018 20:00	163.900		01/03/2018 20:00	40.000
	01/03/2018 20:05	163.200		01/03/2018 20:05	40.000
	01/03/2018 20:10	162.600		01/03/2018 20:10	40.000
	01/03/2018 20:15	162.000		01/03/2018 20:15	40.000
	01/03/2018 20:20	161.400		01/03/2018 20:20	40.000
	01/03/2018 20:25	160.900		01/03/2018 20:25	40.000
	01/03/2018 20:30	160.300		01/03/2018 20:30	40.000
	01/03/2018 20:35	159.900		01/03/2018 20:35	40.000
	01/03/2018 20:40	159.400		01/03/2018 20:40	39.900
	01/03/2018 20:45	158.900		01/03/2018 20:45	39.900
	01/03/2018 20:50	158.500		01/03/2018 20:50	39.900
	01/03/2018 20:55	158.100		01/03/2018 20:55	39.900
	01/03/2018 21:00	157.700		01/03/2018 21:00	39.800
	01/03/2018 21:05	157.300		01/03/2018 21:05	39.700
	01/03/2018 21:10	156.900		01/03/2018 21:10	39.700
	01/03/2018 21:15	156.600		01/03/2018 21:15	39.600
	01/03/2018 21:20	156.200		01/03/2018 21:20	39.500
	01/03/2018 21:25	155.800		01/03/2018 21:25	39.400
	01/03/2018 21:30	155.500		01/03/2018 21:30	39.300
	01/03/2018 21:35	155.100		01/03/2018 21:35	39.300
	01/03/2018 21:40	154.800		01/03/2018 21:40	39.200
	01/03/2018 21:45	154.400		01/03/2018 21:45	39.100
	01/03/2018 21:50	154.100		01/03/2018 21:50	39.000
	01/03/2018 21:55	153.700		01/03/2018 21:55	39.000

TABLA DE HIDROGRAMA DE FLUJO SUBSUCENCA RÍO HUANCABAMBA Y QDA. CHULA					
Río Huancabamba			Qda. Chula		
2D Flow	Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)	2D Flow	Simulation Time (date)	Flow Flow (m3/s)
	01/03/2018 22:00	153.400		01/03/2018 22:00	38.900
	01/03/2018 22:05	153.100		01/03/2018 22:05	38.800
	01/03/2018 22:10	152.700		01/03/2018 22:10	38.800
	01/03/2018 22:15	152.400		01/03/2018 22:15	38.800
	01/03/2018 22:20	152.100		01/03/2018 22:20	38.700
	01/03/2018 22:25	151.800		01/03/2018 22:25	38.700
	01/03/2018 22:30	151.500		01/03/2018 22:30	38.600
	01/03/2018 22:35	151.200		01/03/2018 22:35	38.600
	01/03/2018 22:40	151.000		01/03/2018 22:40	38.600
	01/03/2018 22:45	150.700		01/03/2018 22:45	38.600
	01/03/2018 22:50	150.400		01/03/2018 22:50	38.600
	01/03/2018 22:55	150.200		01/03/2018 22:55	38.600
	01/03/2018 23:00	149.900		01/03/2018 23:00	38.500
	01/03/2018 23:05	149.700		01/03/2018 23:05	38.500
	01/03/2018 23:10	149.500		01/03/2018 23:10	38.500
	01/03/2018 23:15	149.300		01/03/2018 23:15	38.500
	01/03/2018 23:20	149.100		01/03/2018 23:20	38.500
	01/03/2018 23:25	148.900		01/03/2018 23:25	38.500
	01/03/2018 23:30	148.700		01/03/2018 23:30	38.500
	01/03/2018 23:35	148.500		01/03/2018 23:35	38.500
	01/03/2018 23:40	148.400		01/03/2018 23:40	38.500
	01/03/2018 23:45	148.200		01/03/2018 23:45	38.500
	01/03/2018 23:50	148.100		01/03/2018 23:50	38.500
	01/03/2018 23:55	147.900		01/03/2018 23:55	38.500
	02/03/2018 00:00	147.800		02/03/2018 00:00	38.500

ANEXO 2: Hidrograma de Flujo Máximo (m³/s) – Cauce Río Huancabamba para Tr = 100 años

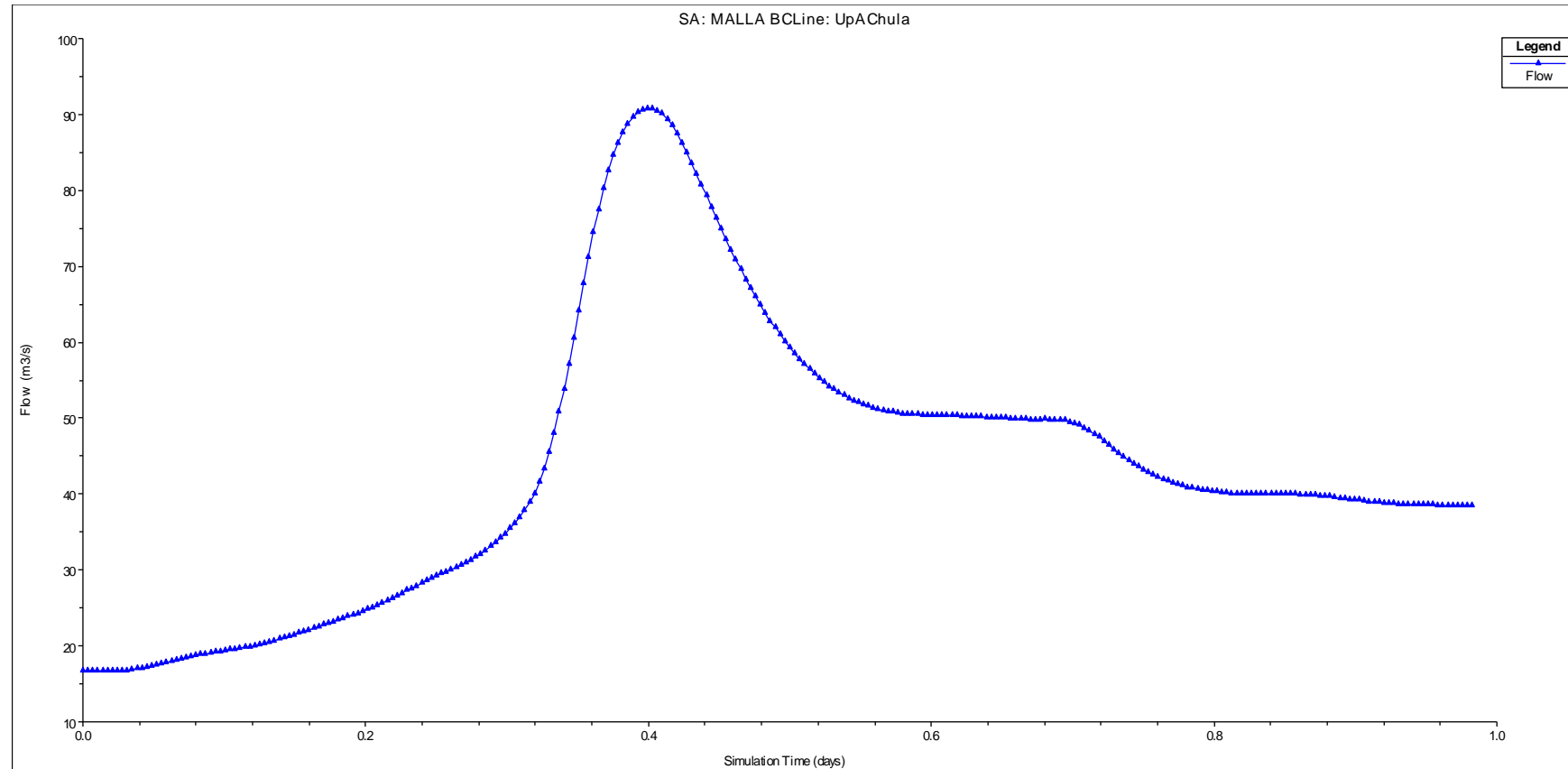


Caudal máximo: $Q_{\max} = 296.80 \text{ m}^3/\text{s}$

Volumen máximo (1000 m³): $V = 13,880.040$

Tiempo de ocurrencia: a las 11.00 am.

ANEXO 3: Hidrograma de Flujo Máximo (m³/s) – Qda. Chula para Tr = 100 años

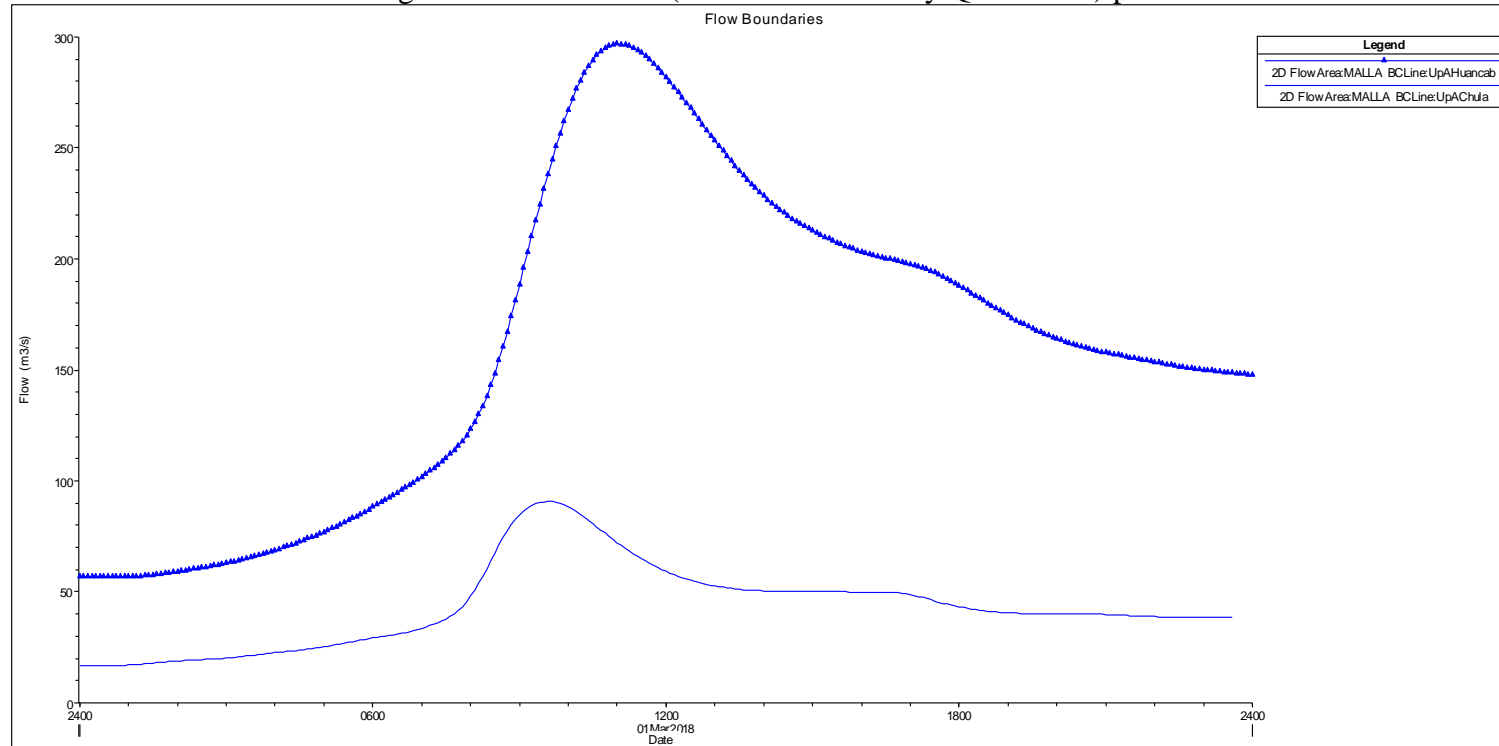


Caudal máximo: $Q_{max} = 90.80 \text{ m}^3/\text{s}$

Volumen máximo (1000 m³): $V = 3,687.090$

Tiempo de ocurrencia a las 09.35 am.

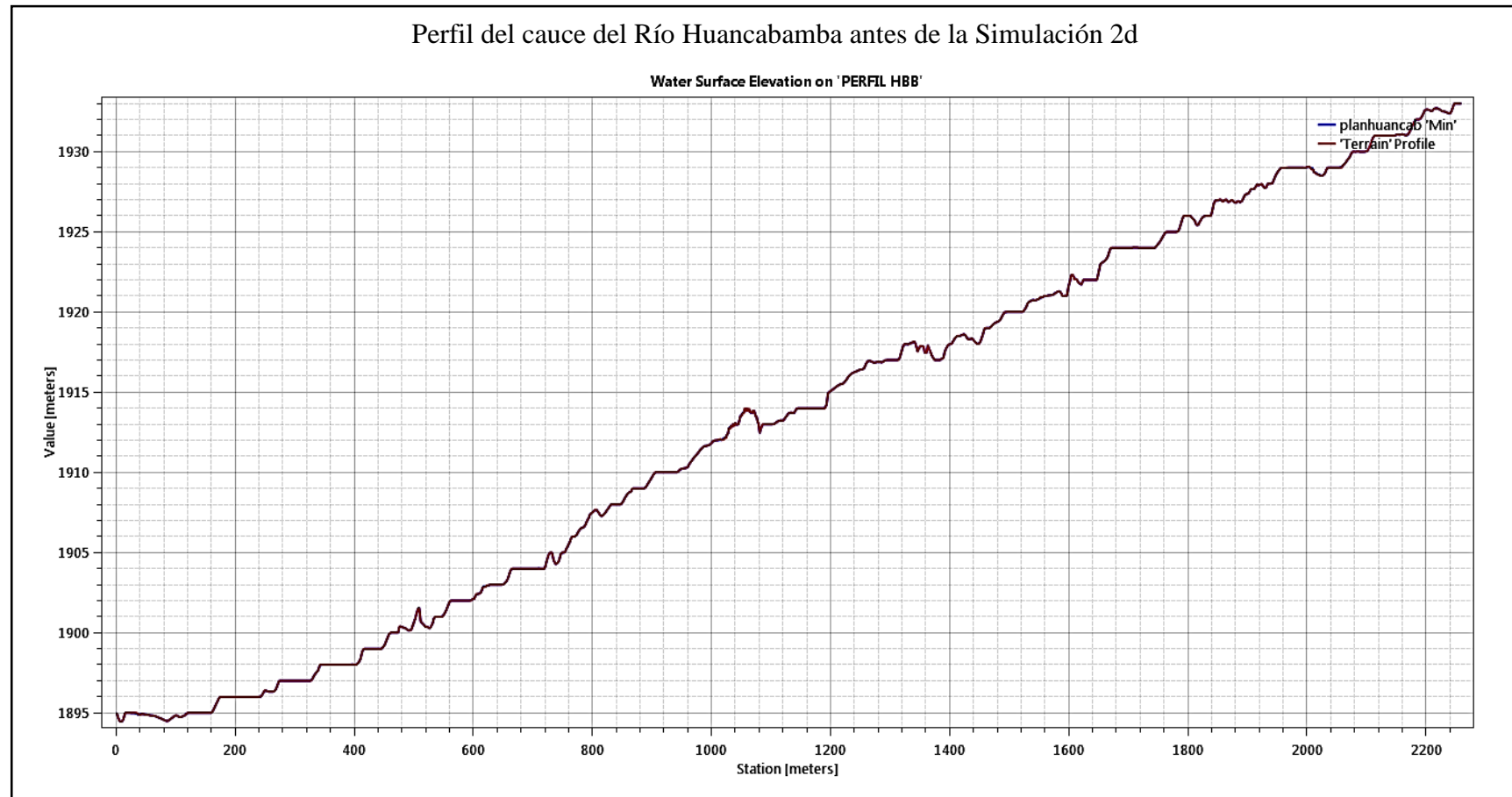
ANEXO 4: Hidrogramas Combinados (Río Huancabamba y Qda. Chula) para Tr = 100 años



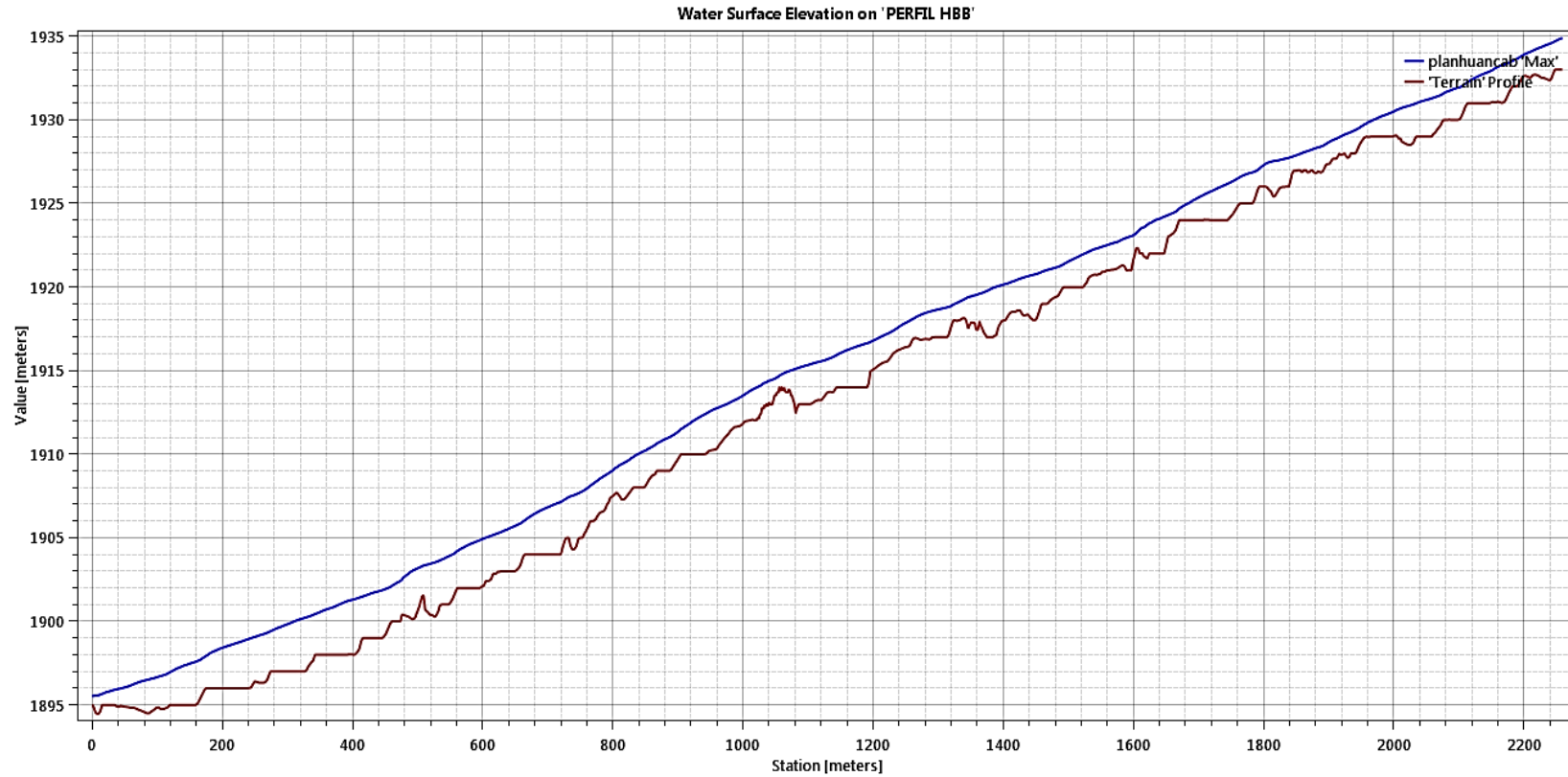
Resumen del Caudal Entrante (*inflow summary*)

TR (Años)	Hydrologic Element	Time of Peak	Drainage Area (Km²)	Peak Discharge (m³/s)	Volume (1000 m³)
100	Río Huancabamba	01Mar2018, 11:00	297.272	296.800	46.690
	Qda. Chula	01Mar2018, 09:35	87.666	90.800	42.720
	Pto. Proyecto	01Mar2018, 10:55	384.937	370.600	17543.600

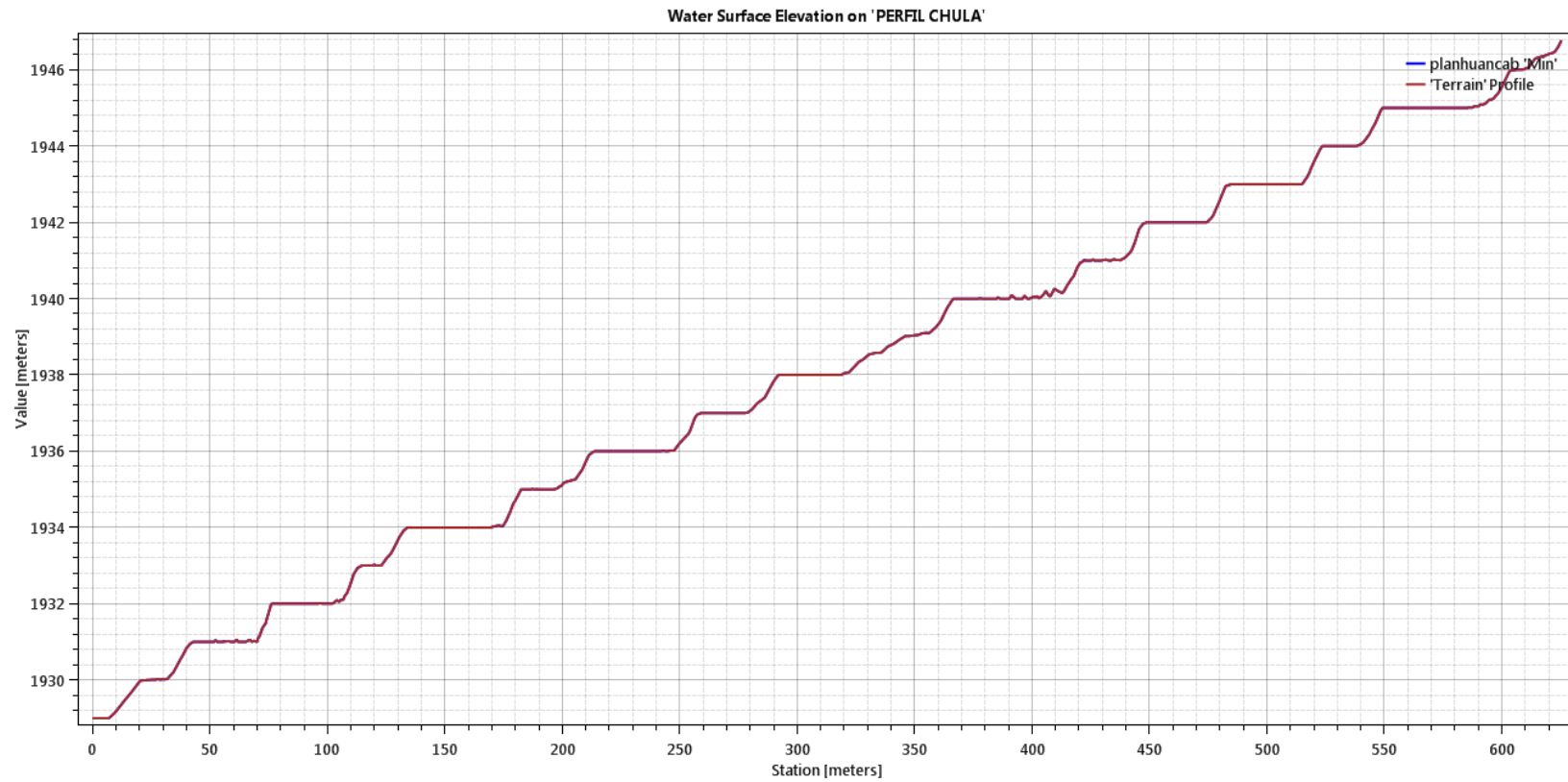
ANEXO 5: Perfiles longitudinales antes y después de la simulación para $T_r = 100$ años



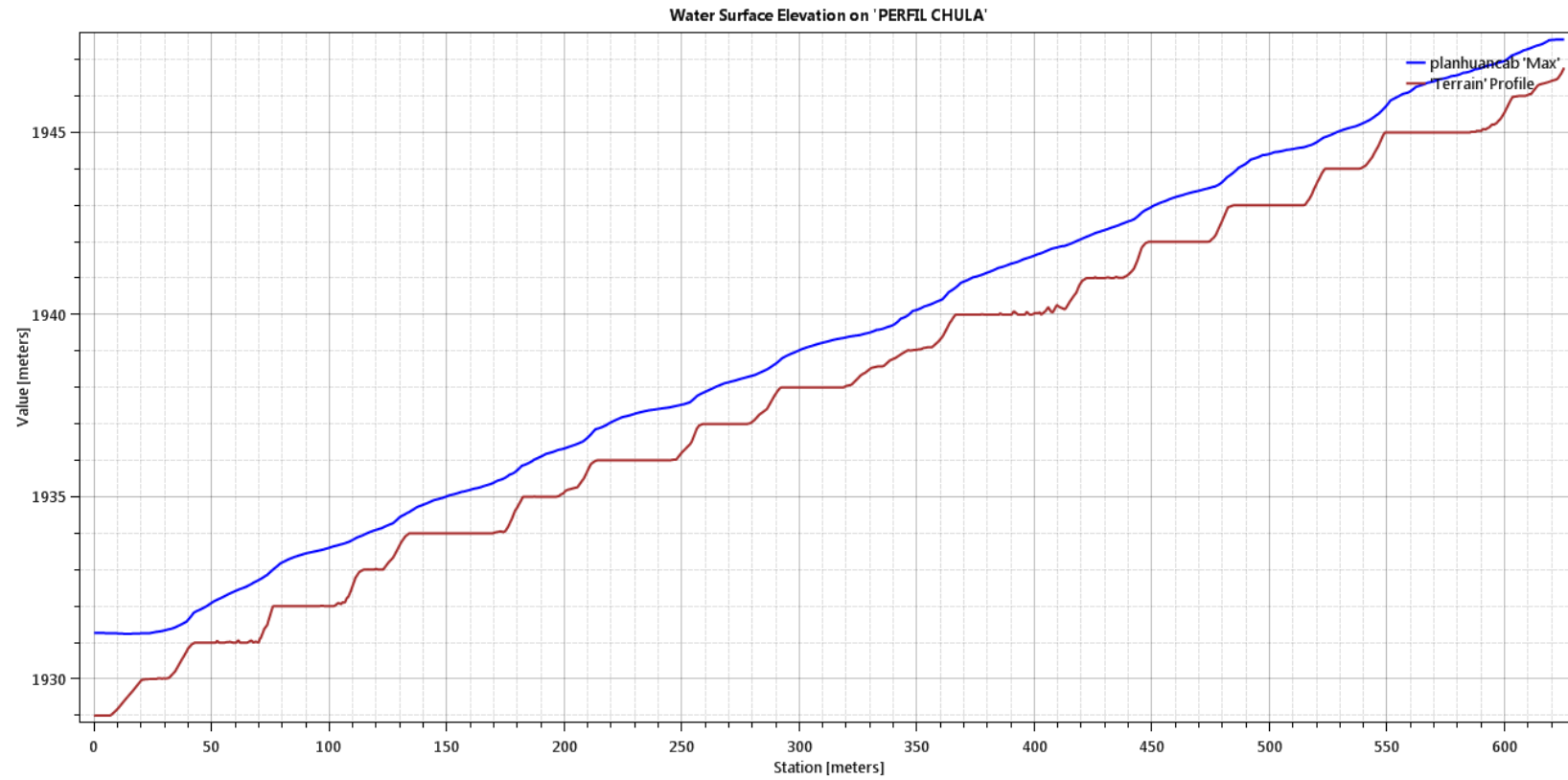
Perfil del Cauce del Río Huancabamba después de la Simulación 2d



Perfil de la Qda. Chula antes de la Simulación 2d

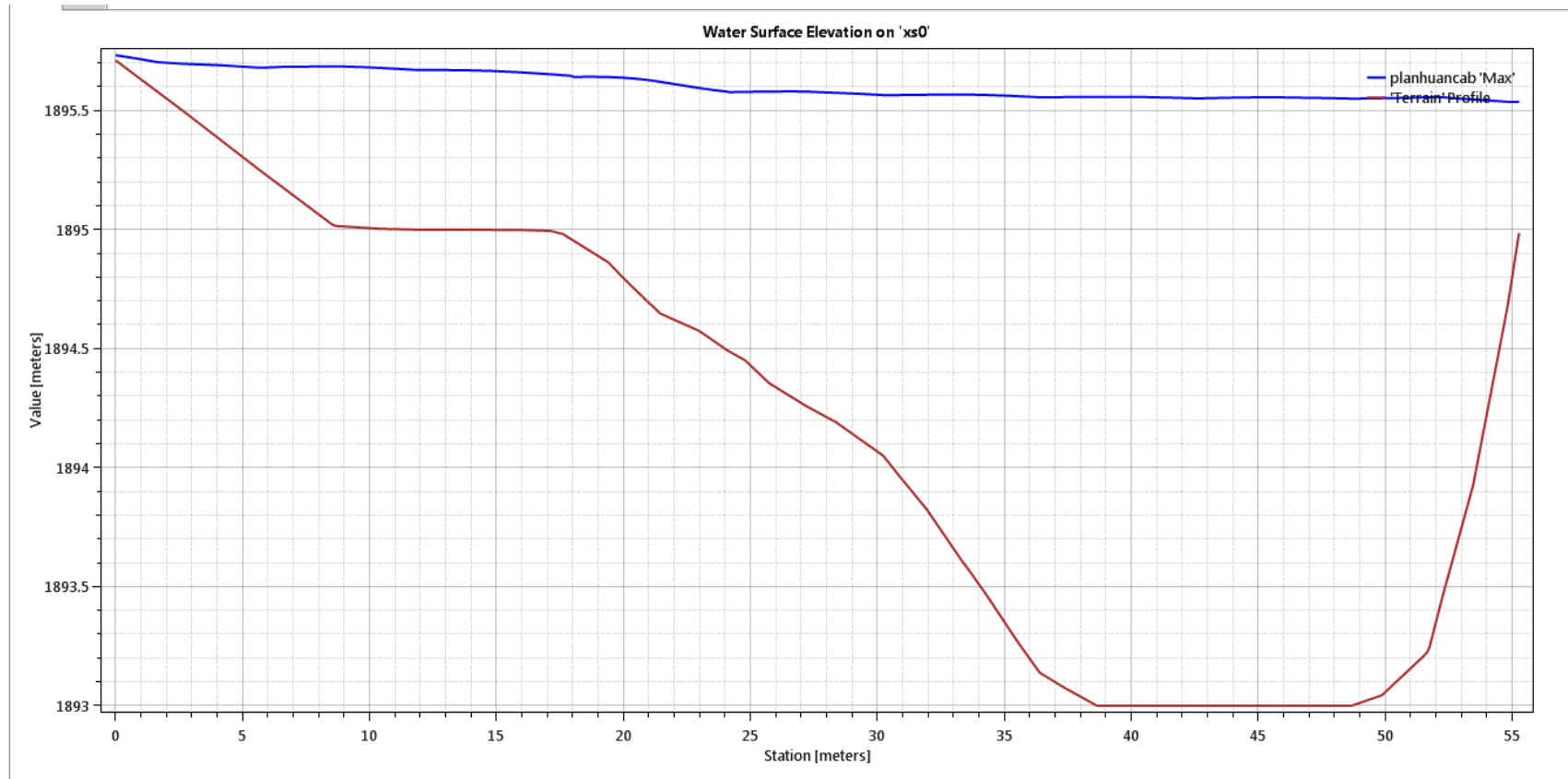


Perfil de la Qda. Chula después de la Simulación 2d

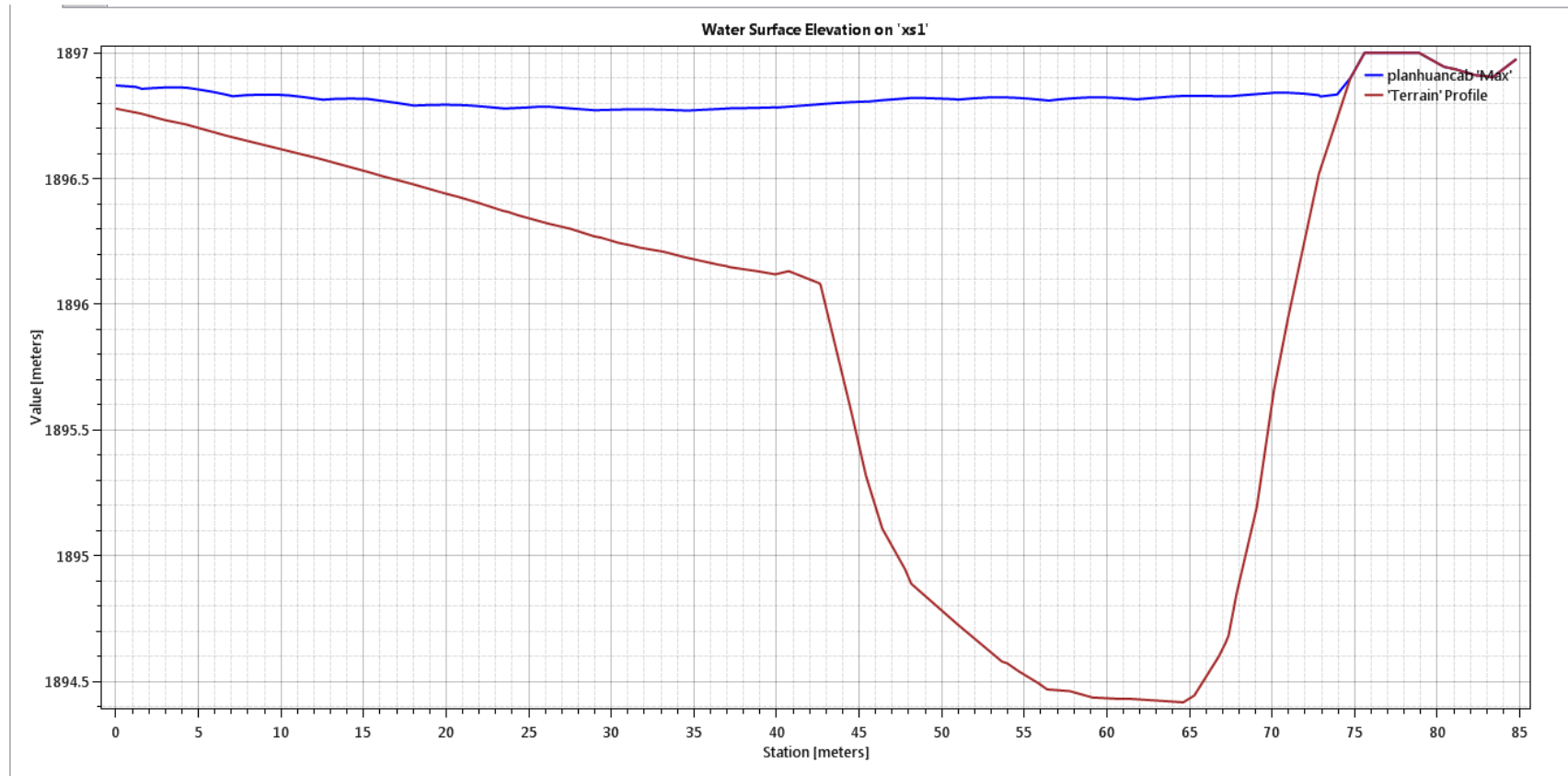


ANEXO 6: Secciones transversales en el Río Huancabamba para $Tr = 100$ años

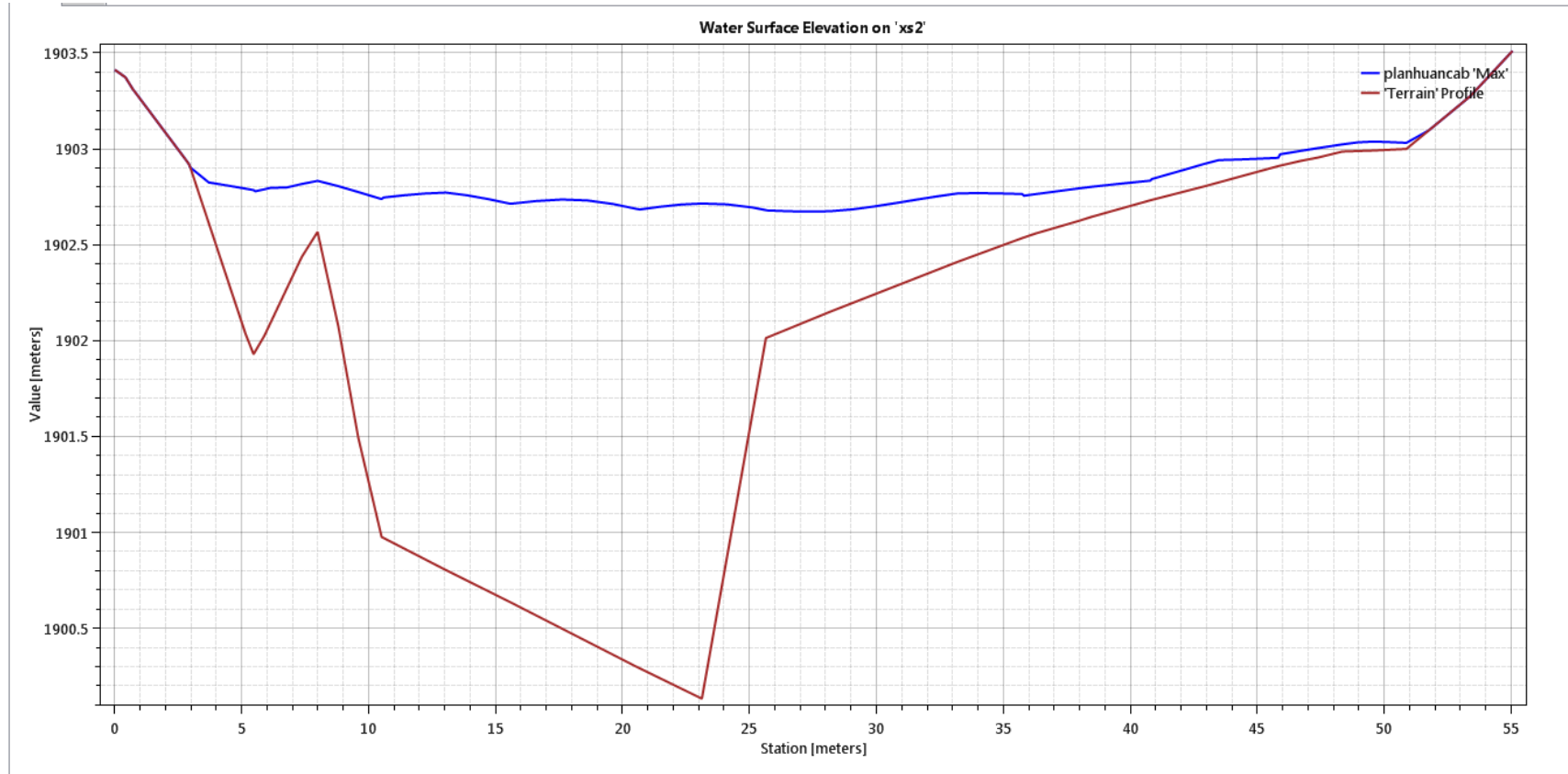
SECCIÓN1 EN LA PROG. 0+000



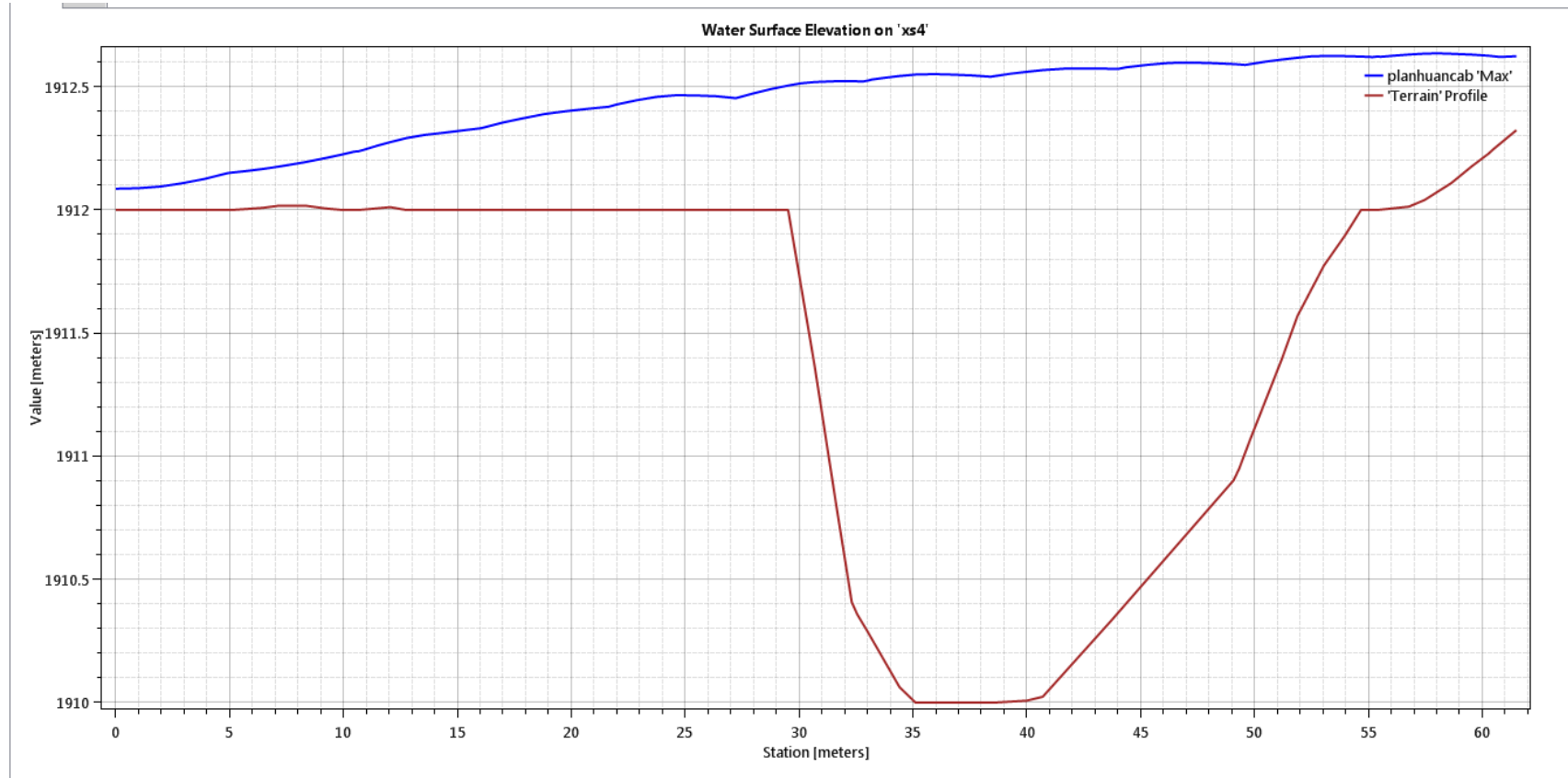
SECCIÓN 2 EN LA PROG. 0+118.90



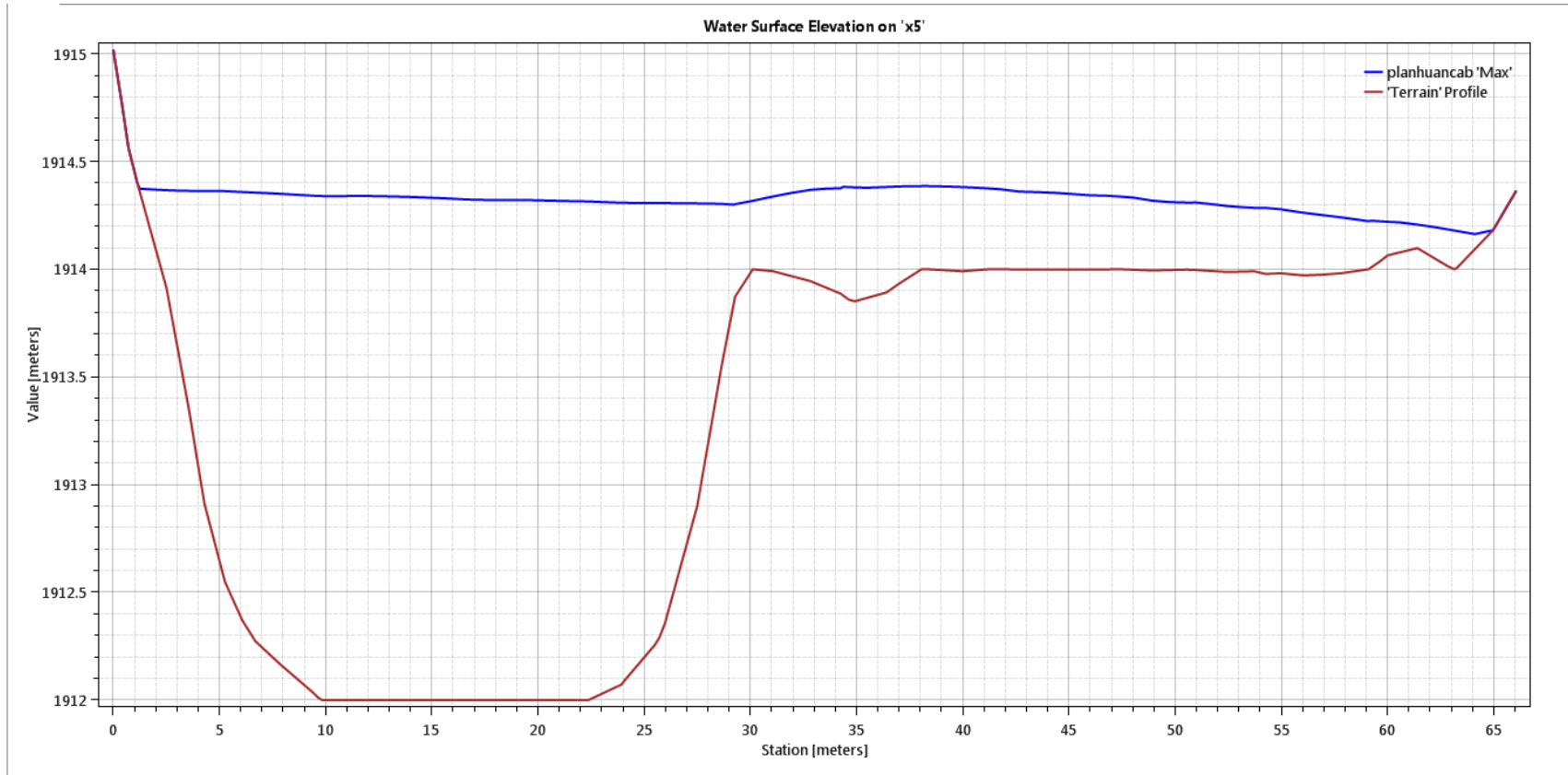
SECCIÓN 3 EN LA PROG. 0+475.6



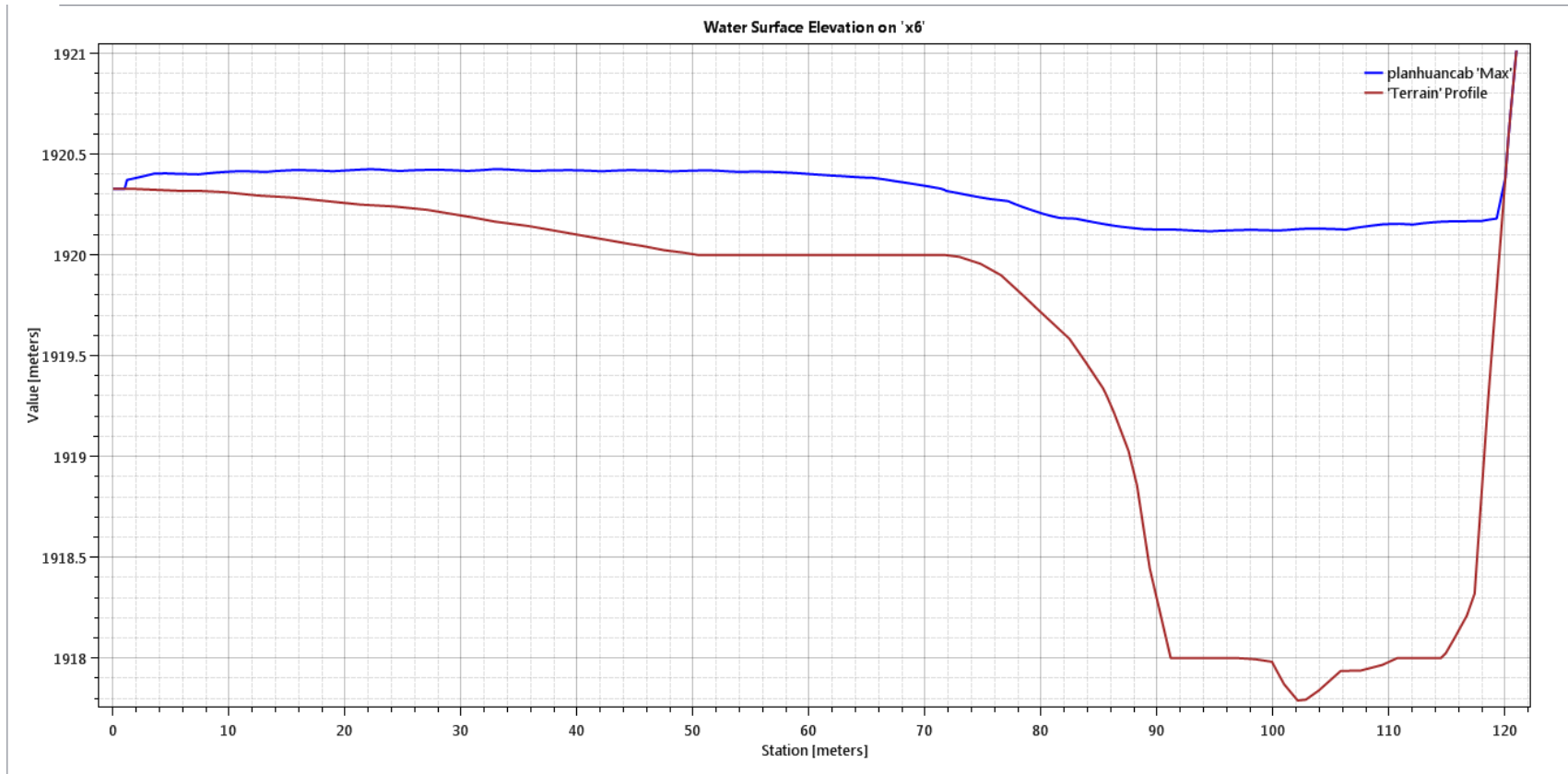
SECCIÓN 4 EN LA PROG. 0+954.84



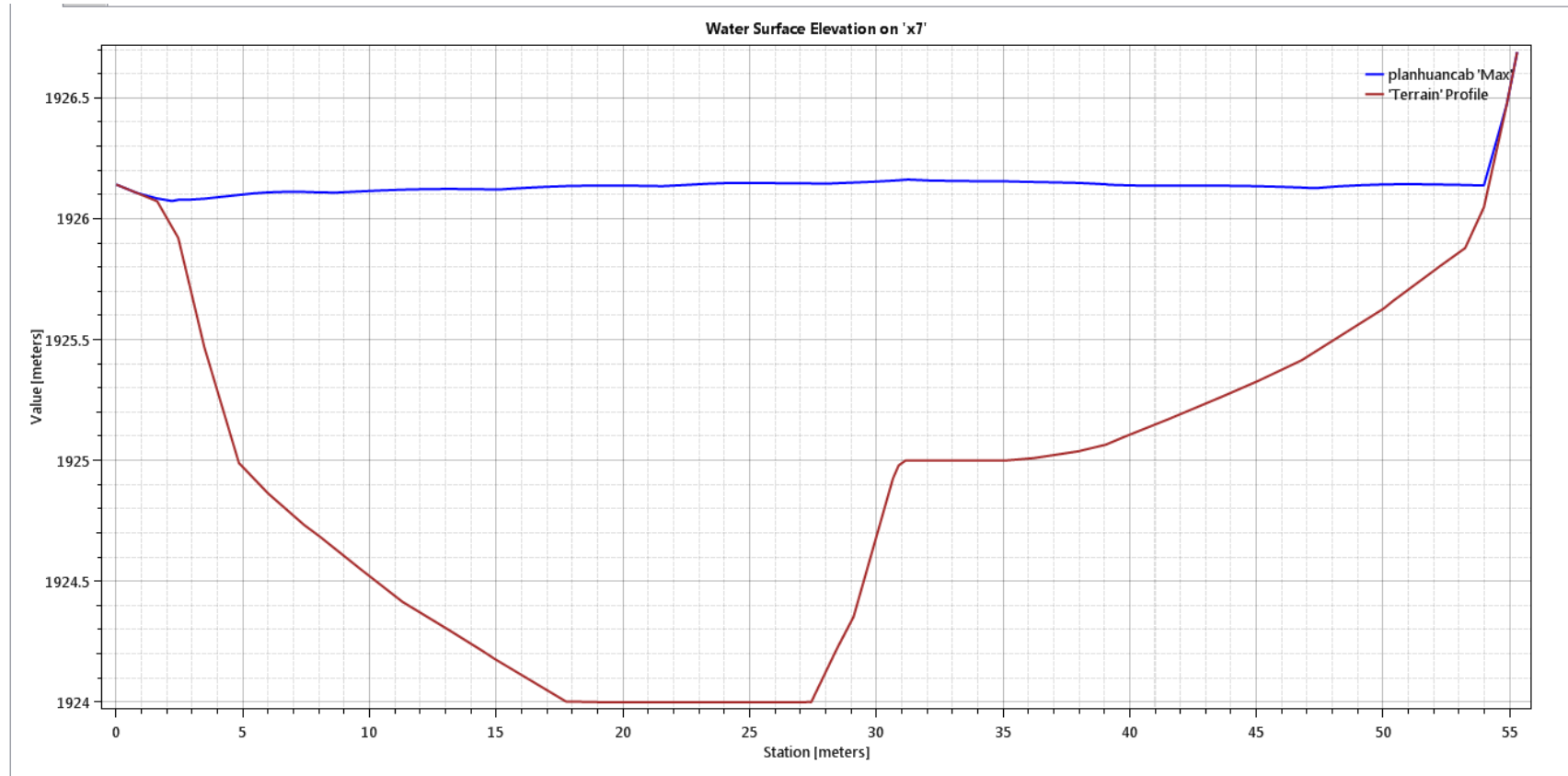
SECCIÓN 5 EN LA PROG. 1+038.01



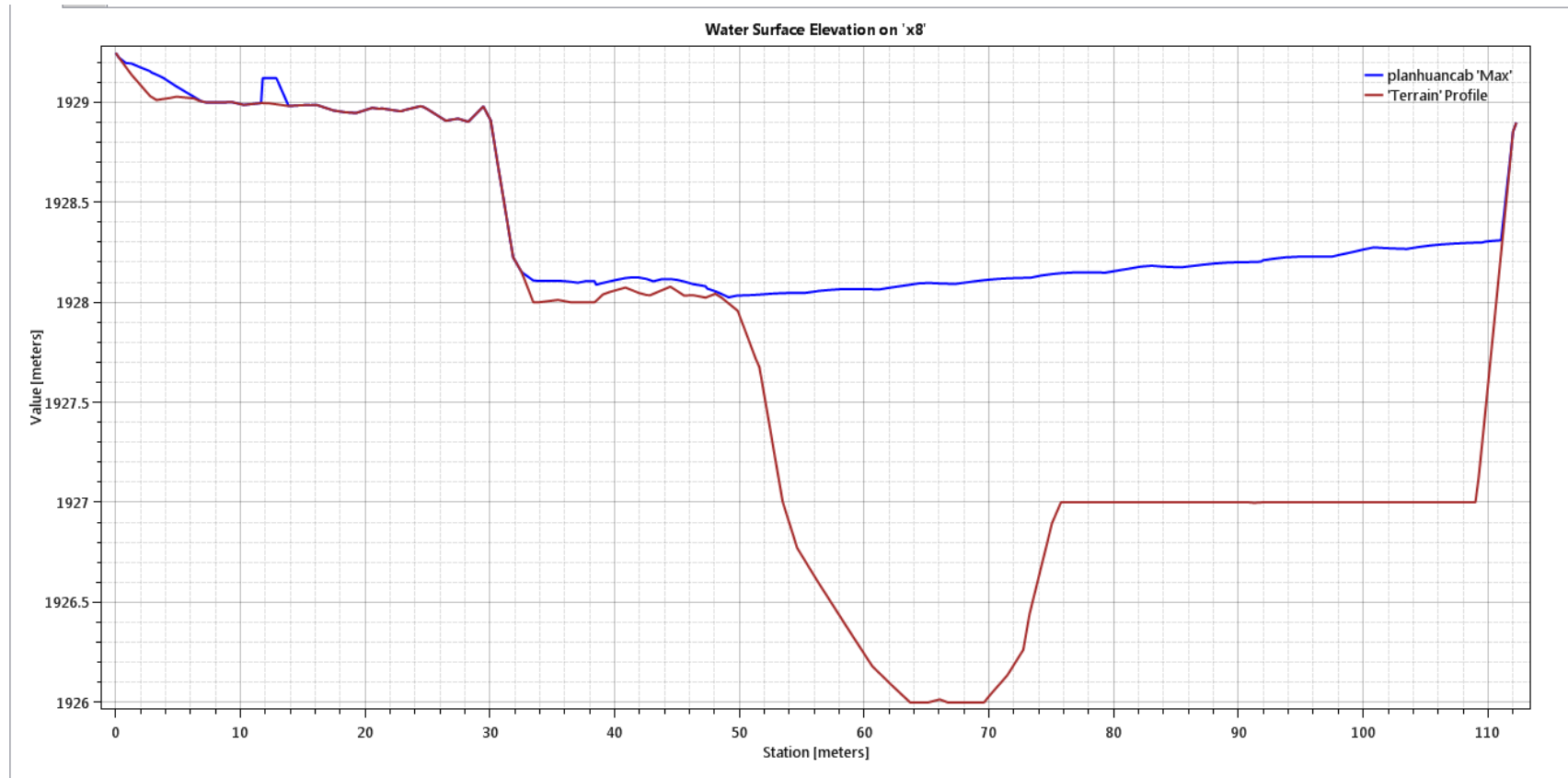
SECCIÓN 6 EN LA PROG. 1+390.27



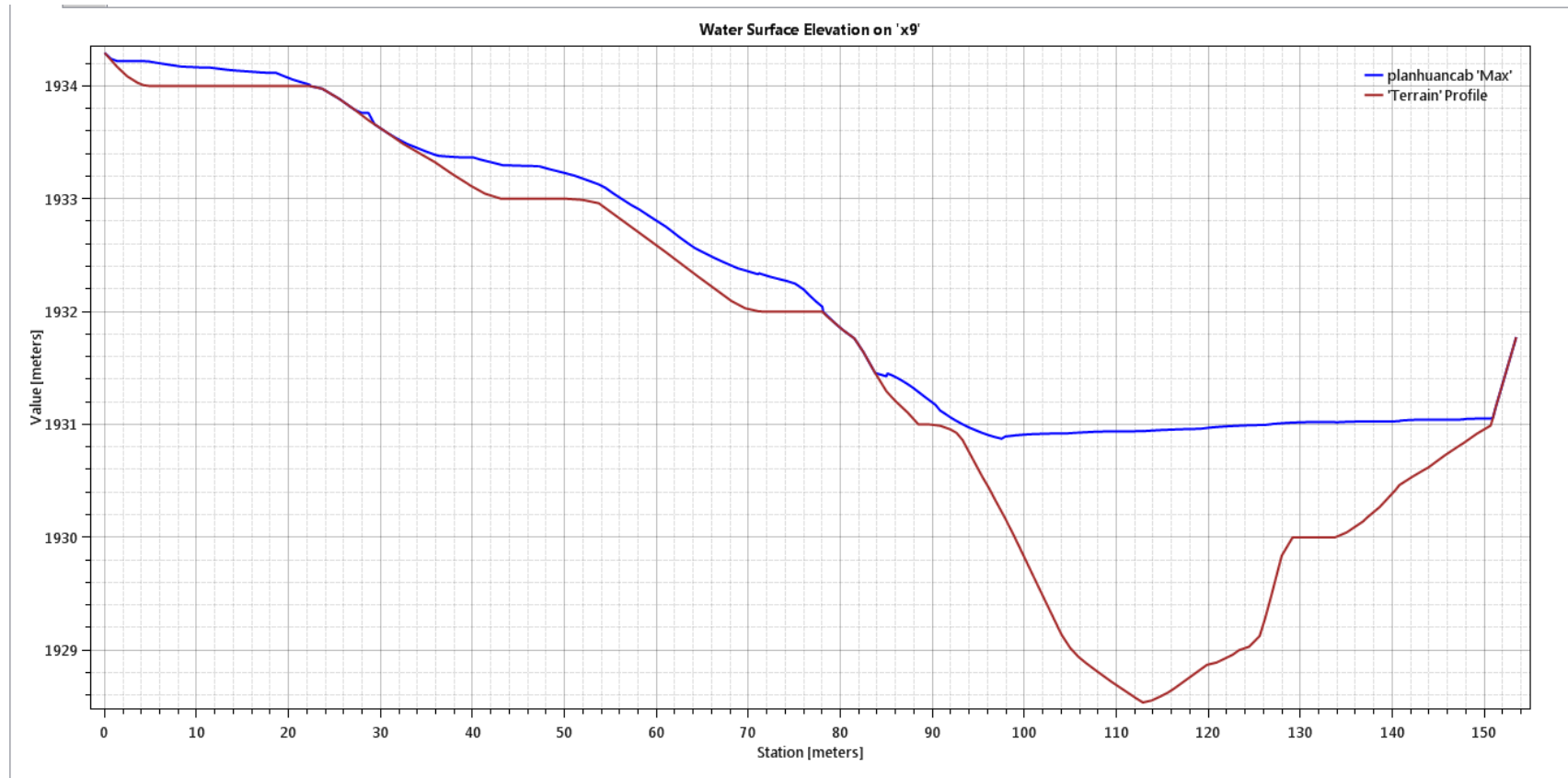
SECCIÓN 7 EN LA PROG. 1+737.84



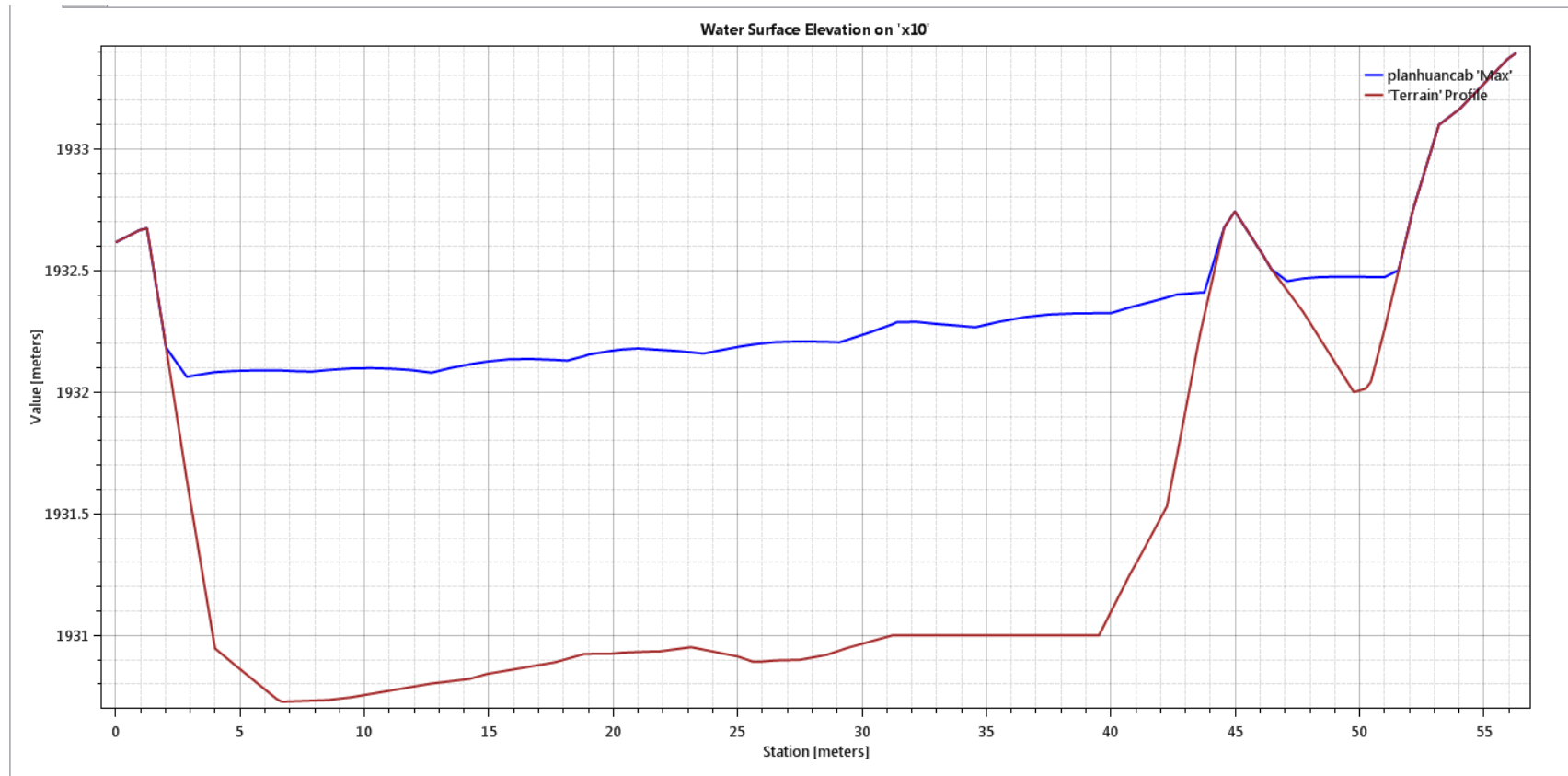
SECCIÓN 8 EN LA PROG. 1+871.90



SECCIÓN 9 EN LA PROG. 2+031.00

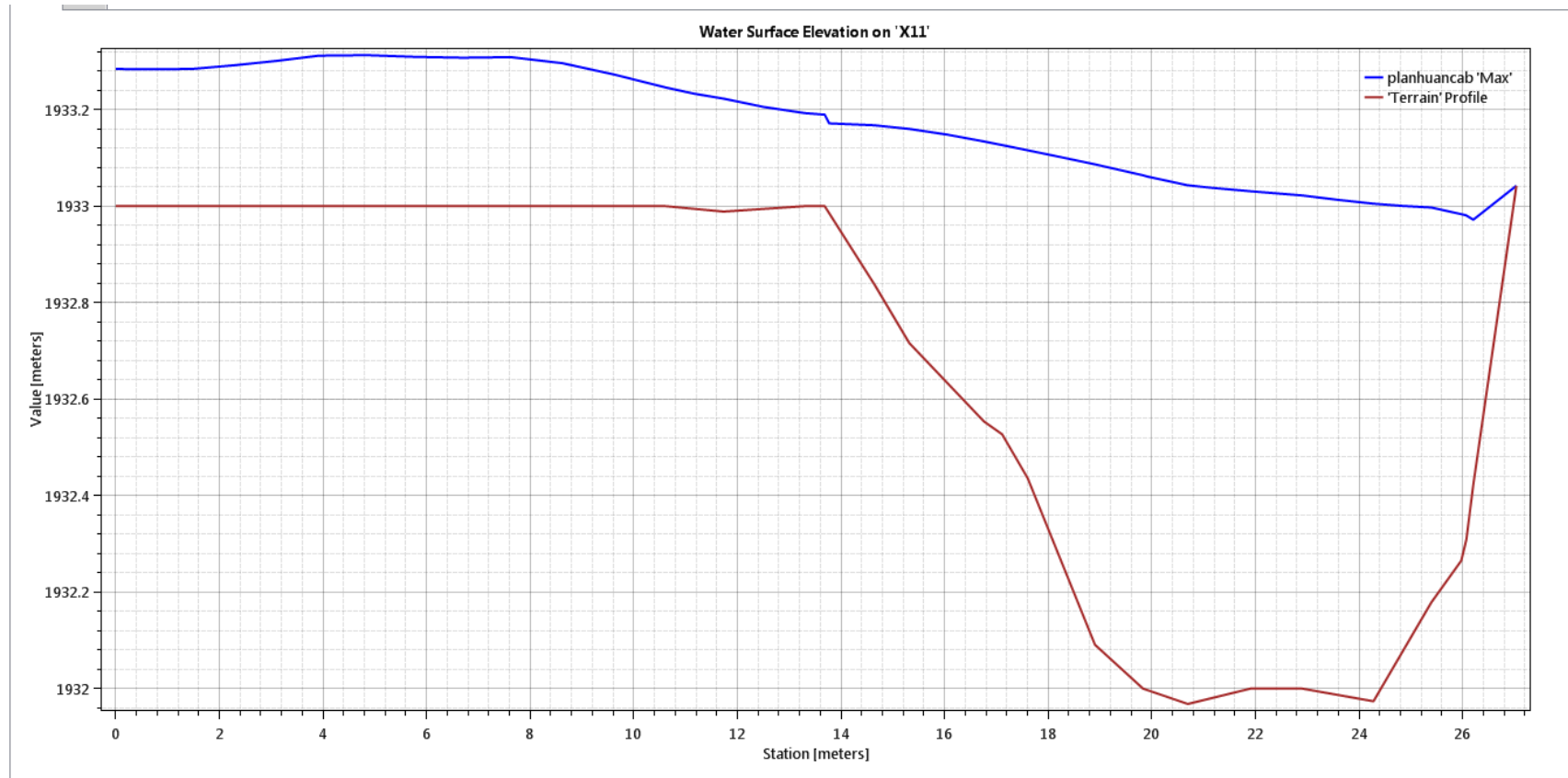


SECCIÓN 10 EN LA PROG. 2+105.09

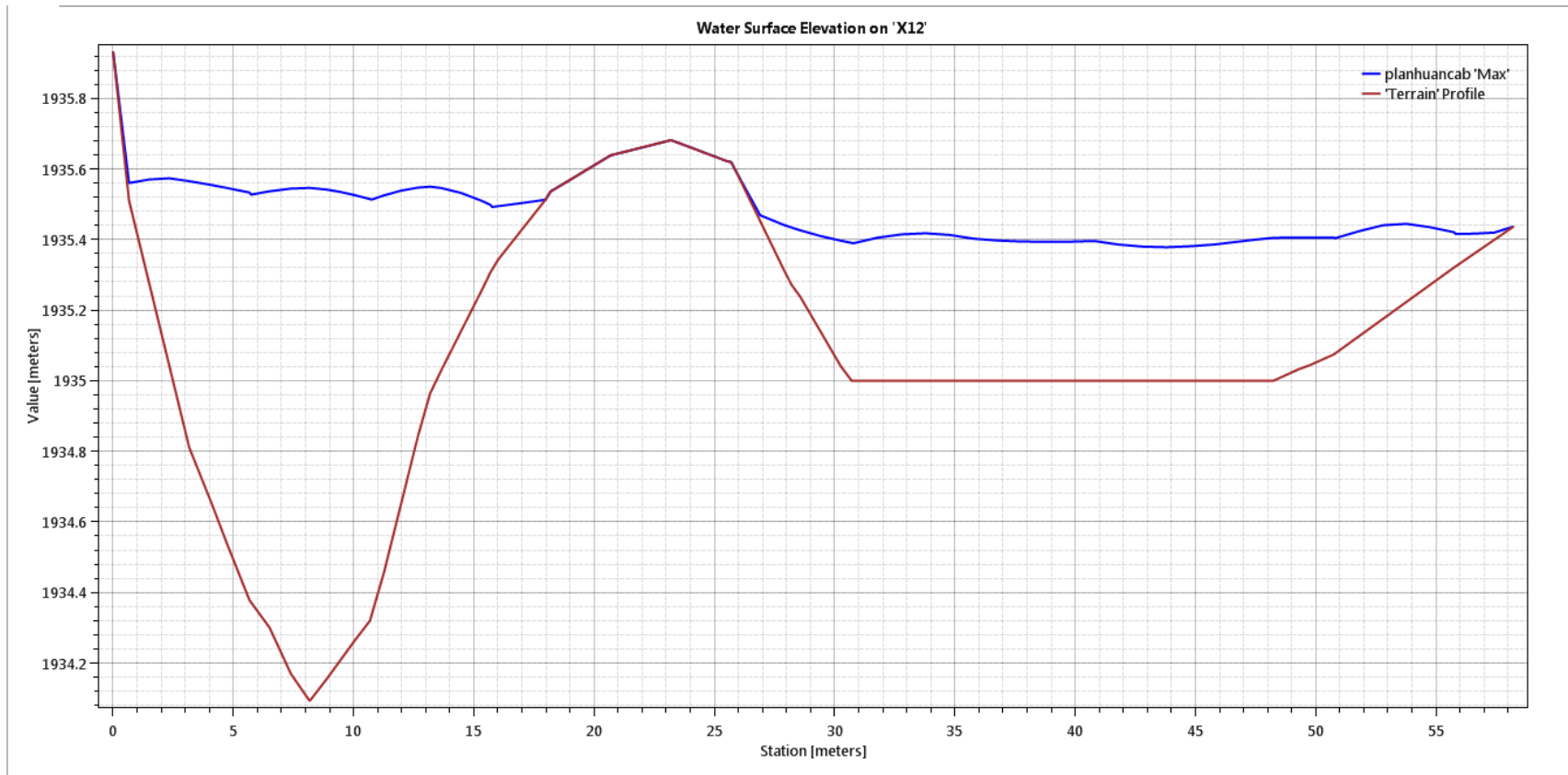


ANEXO 7: Secciones transversales en la Qda. Chula para $Tr = 100$ años

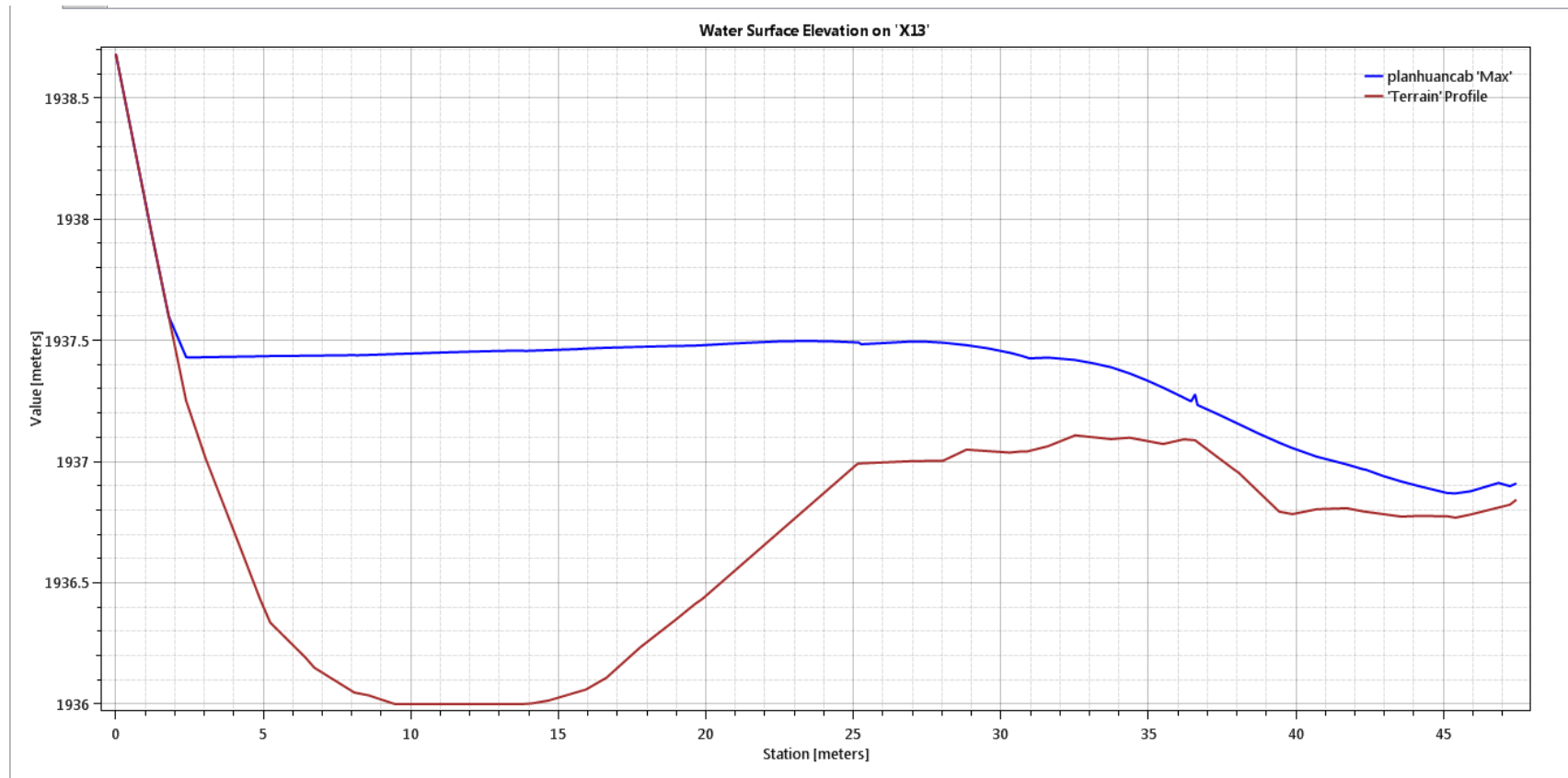
SECCIÓN 11 EN LA QUEBRADA CHULA PROG. 0 + 78.17



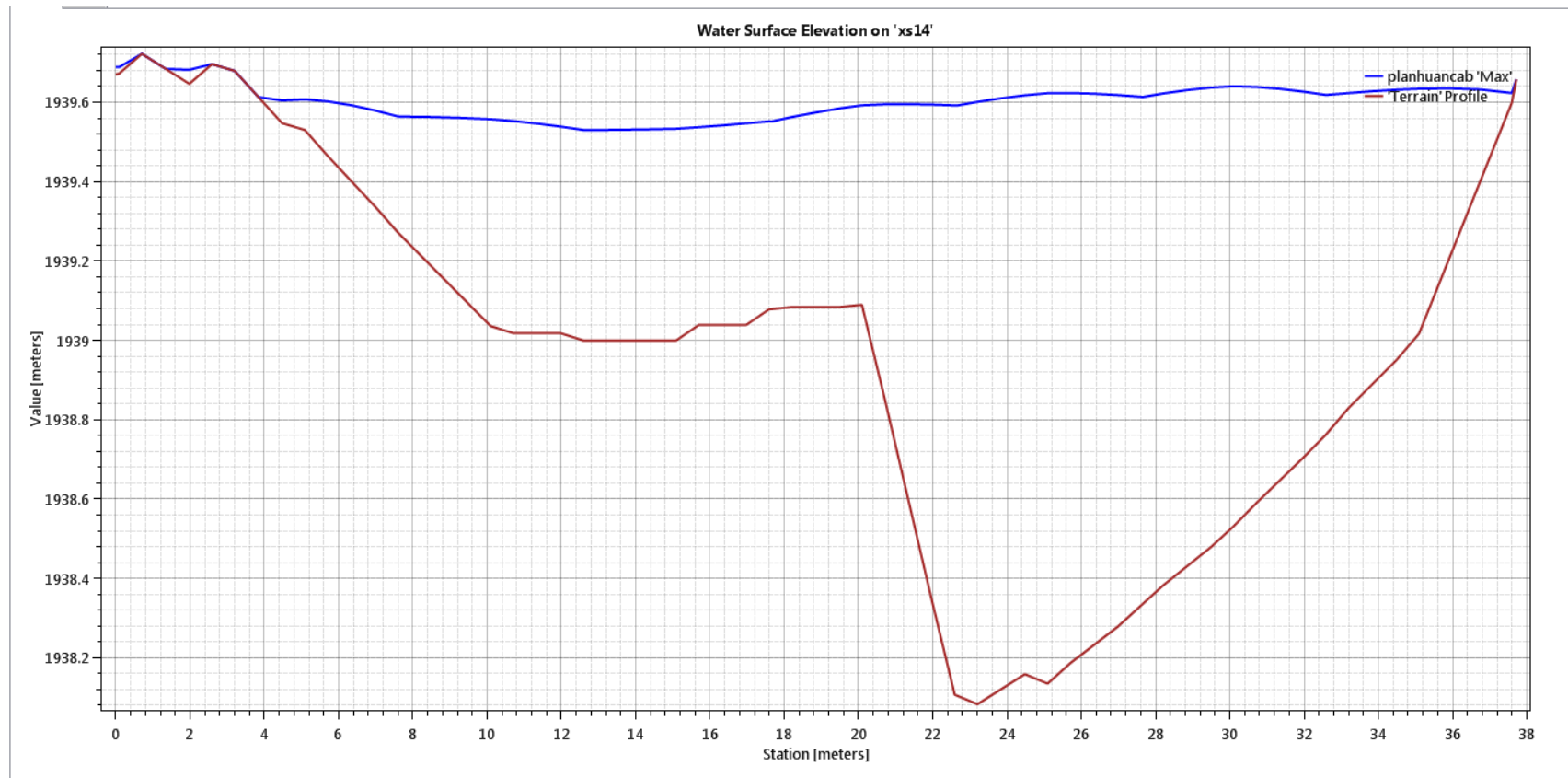
SECCIÓN 12 EN LA QUEBRADA CHULA PROG. 0 + 181.35



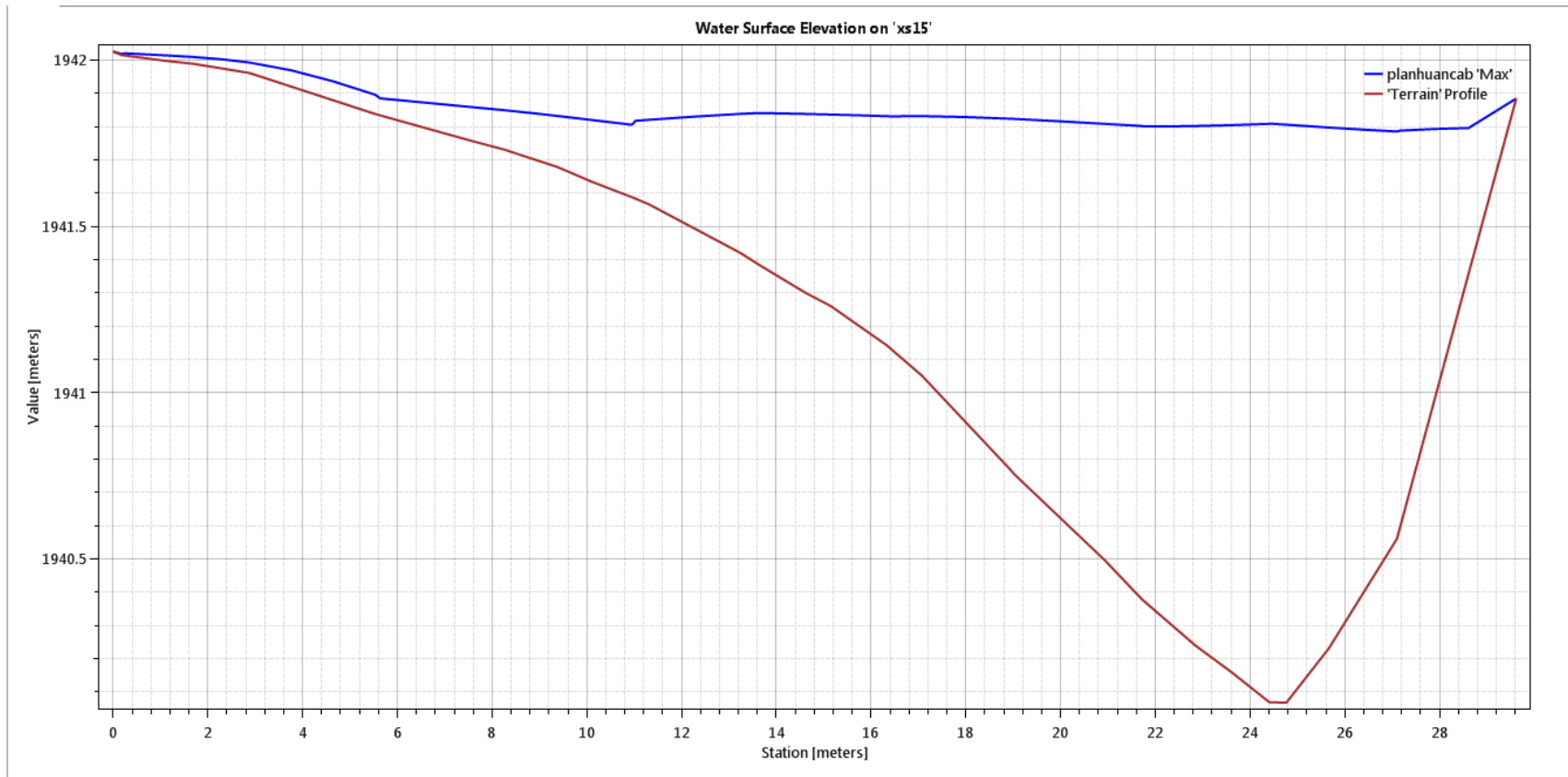
SECCIÓN 13 EN LA QUEBRADA CHULA PROG. 0 + 234.52



SECCIÓN 14 EN LA QUEBRADA CHULA PROG. 0 + 335.69



SECCIÓN 15 EN LA QUEBRADA CHULA PROG. 0 + 411.87



SECCIÓN 16 EN LA QUEBRADA CHULA PROG. 0 + 567.21

